

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

В. КРУГ, Г.-Г. ВАЙДЕ
ПРИМЕНЕНИЕ
НАУЧНОЙ
ФОТОГРАФИИ

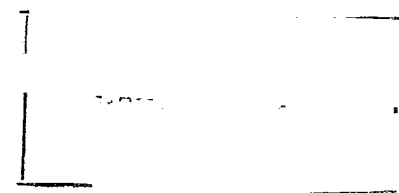


В. Круг,
Г.-Г. Вайде

ПРИМЕНЕНИЕ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Перевод с немецкого
канд. техн. наук М. Р. Шпольского
и И. С. Яниной

Под редакцией
д-ра техн. наук, проф. Г. А. Истомина



Издательство «Мир»

Москва 1975

В настоящее время фотографические методы регистрации — мощное средство исследований во многих областях науки и техники. Важнейшая задача при этом — полное извлечение и обработка информации, записываемой и хранимой светочувствительным слоем.

В книге описаны методы, позволяющие осуществлять оптимальное использование информации черно-белых негативов. Рассмотрены пути увеличения светочувствительности или коррекции недоэкспонированных или недопроявленных негативов, задачи выделения фотографических почернений; описывается применение этих методов в изобразительной художественной фотографии, в аэрофотографии, биологии, астрономии, спектроскопии.

Книга предназначена для химиков, криминалистов и исследователей, использующих фотографические методы в научно-технических целях.

Редакция литературы по новой технике

К $\frac{32303-171}{041(01)-75}$ 171—74

© Перевод на русский язык, «Мир», 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА РУССКОГО ИЗДАНИЯ

Несмотря на применение современных электронных методов в тех областях, где ранее использовалась фотография, последняя не утратила своего значения. Возможность регистрации двумерного изображения, накопления световой энергии, а также преобразования информации в фотопроцессах, универсальность и доступность фотографических методов делают их несравнимыми ни с какой другой системой записи изображения. В настоящее время фотографические методы являются не только основой профессиональной и любительской фотографии, но и мощным средством исследования во многих областях науки и техники.

Как известно, светочувствительный слой служит средством записи и хранения информации. Оптимальное использование фотографических методов возможно, очевидно, лишь при условии, что эта информация извлечена и обработана полностью в соответствии с данной задачей. В этом отношении обычные «классические» методы обработки имеют ограниченные возможности. В процессе съемки, химико-фотографической обработки, при получении позитивного изображения и его преобразованиях в той или иной степени происходит потеря информации. Если раньше основным направлением усовершенствования техники фотографии было улучшение информационных свойств фотографирующей системы объектив — светочувствительный слой, то теперь решающее значение приобретает задача наиболее полного извлечения и переработки информации, зарегистрированной фотографическим материалом. Эта задача стала осуществимой в

результате более углубленного изучения механизма формирования фотографического изображения, применения теории информации и использования новых физико-химических процессов и явлений, таких, как эффект Сабатье, ставший в сущности основой процесса получения эквиденсит, и эффект Эбергарда (эффект смежных мест), на котором основан ряд приемов, увеличивающих резкость и информативность фотографического изображения.

В последние годы разработан целый комплекс различных методов, позволяющих наилучшим образом использовать информацию фотографических черно-белых негативов и перерабатывать ее в желаемом направлении в соответствии с поставленной задачей. Ни в отечественной, ни в зарубежной литературе до сих пор нет специальной монографии, посвященной этим вопросам. Весь известный весьма обширный материал содержится в большом числе журнальных публикаций, в сборниках трудов и мало доступен широкому кругу читателей.

Книга известных специалистов, сотрудников Института оптики и спектроскопии АН ГДР В. Круга и Г.-Г. Вайде «Применение научной фотографии» восполняет этот пробел в литературе. Авторы излагают в ней принципиальные основы и технологические приемы трансформации изображения; рассматривают ряд задач, связанных с увеличением светочувствительности или, иначе говоря, со способами коррекции недодержанных или недопроявленных негативов без ухудшения качества изображения; приемы, позволяющие расширить интервал яркостей, передаваемый негативом, и улучшающие передачу мелких деталей; большую группу методов, предназначенных для выделения фотографических почернений, осуществляемого двумя путями — цветом изображения и линиями равных почернений, каждая из которых отвечает заданному значению оптической плотности.

Особый интерес представляют разнообразные методы маскирования — резкая и нерезкая маски, метод сине-желтого тонирования изображения. Последний метод отличается простотой и доступностью, а по эффективности не уступает более сложным методам маскирования. Все эти приемы предоставляют широкие возможности видоизменения изображения и достижения разнообразных

эффектов. В книге приводится ряд примеров их использования в астрономии, спектроскопии, биологических исследованиях, светотехнике, аэрофотосъемке и многих других научно-технических областях. Значительное внимание уделяется также разнообразным применениям в художественной фотографии; в частности, это относится к различным приемам, позволяющим перейти от обычного полутонного изображения к штриховому, а также к получению изображения, сходного с рисунком пером, с гравюрой и т. п. Широкие возможности в художественной фотографии имеет метод изогелии в сочетании с цветовыми эффектами.

Книга, однако, не лишена недостатков: имеются неясности в изложении отдельных положений, слабо отражены работы советских авторов. Поскольку вся технология фотографических процессов дана применительно к иностранным материалам и рецептуре, при переводе пришлось иногда отходить от текста или давать поясняющие примечания.

Перевод книги выполнили М. Р. Шпольский (гл. 1—5, 7, 8) и И. С. Янина (гл. 6). Редактор приносит благодарность канд. физ.-мат. наук И. И. Брейдо за дополнительный список литературы по эквиденситометрии и ее применению в астрономии.

Г. А. Истомин

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ

Современная жизнь немыслима без фотографии, которая по-прежнему сохраняет свое значение для художественных целей и изготовления документации, а также является важным вспомогательным средством, применяемым в научных и технических разработках. Фотография — это не только основная работа профессиональных фотографов и приятное занятие в свободное время для фотолюбителей, но и важный источник новых сведений для исследователей во всех областях науки.

Во всех случаях информация регистрируется фотографическим слоем. Оптимально использовать ее можно лишь в том случае, когда накопленная информация будет полностью извлечена и обработана. При этом обычные методы фотографической обработки обладают ограниченными возможностями.

В предлагаемой книге приведен ряд методов, способствующих оптимальному извлечению информации, накопленной черно-белым негативом. Цветная фотография, применяемая главным образом в кино и в любительской фотографии, не рассматривается.

В отдельных главах книги практики могут найти точные рабочие указания по проведению описанных методов и ознакомиться с научными основами этих методов. В гл. 2 даны вводные предпосылки, поскольку, как показывает опыт, лишь очень немногие специалисты, занимающиеся фотографией, знакомы с современным уровнем и терминологией научной фотографии.

При изложении в редких случаях использованы старые, хорошо известные материалы. В подавляющем боль-

шинстве здесь рассматриваются новые методы, разработанные за последние 15 лет. При этом может показаться удивительным, и это не осталось без внимания, что эквиденситометрия явилась отправным пунктом для развития многих новых методов извлечения информации. Именно в отношении этих методов, практическое применение которых очень просто, возникают многочисленные вопросы, которые могут быть решены лишь со временем, но при этом в ходе их выяснения постоянно получают новые результаты и открываются новые перспективы.

Для того чтобы облегчить изучение основных понятий и способствовать возможно более полному применению этих способов, в конце книги приводится достаточно обстоятельный список литературы.

*В. Круг,
Г.-Г. Вайде*

1.

ВВЕДЕНИЕ

Прошло уже более 130 лет со времени открытия метода фотографирования Дагерром, но его победный путь продолжается. Мы уже не можем обойтись без фотографии в повседневной жизни, в науке и промышленности. Благодаря использованию новейших научных и технических достижений фотоматериалы непрерывно улучшаются и совершенствуются.

В наш век научно-технической революции постоянно появляются все новые области применения фотографии, что стимулирует увеличение производственных мощностей отраслей промышленности, производящих фотоматериалы и оптическую аппаратуру. В настоящее время имеется достаточно большой выбор черно-белых фотоматериалов практически для всех возможных способов их применения в науке и технике.

Несмотря на проникновение быстро развивающейся электроники во многие области, где ранее использовался только фотографический метод регистрации, последний не утратил своего значения. Универсальность фотографического метода, заключающаяся в двумерной регистрации, экономичности, накоплении, преобразовании и передаче информации, все еще не может быть достигнута никаким другим способом регистрации. Аккумуляционные свойства фотопластинки — способность суммировать слабые световые импульсы в течение длительного времени, тем самым доказывая их существование и делая видимыми в результате последующих операций, — сделали их незаменимым средством исследований не только в астрономии. Благодаря возможности двумерной регист-

рации, сочетающейся с высокой разрешающей способностью, можно получить информацию о небесных телах, которые невидимы для глаза даже при использовании гигантских телескопов (Гёрлих [49]).

Однако основное применение фотослой получил как двумерный накопитель информации. Способность в доли секунды фиксировать оптическое изображение и возможность сколь угодно часто воспроизводить его делают фотографический материал необходимым не только в научных исследованиях и технических разработках, но прежде всего в широко распространенной во всем мире любительской фотографии. При воспроизведении информации из накопителя, например при позитивном процессе, для преобразования или передачи накопленной информации решающее значение имеет то количество накопленной информации, которое можно извлечь из фотоматериала применяемым в этом случае методом.

Если прежде имелись большие возможности улучшения оптико-фотографических накопительных систем путем усовершенствования фотоматериалов, то в настоящее время при повышенных требованиях и весьма совершенных фотоматериалах в первую очередь выдвигается условие наиболее полного воспроизведения записанной информации. Несмотря на то что при использовании цветной фотографии благодаря регистрации изображения в цвете появляется третье измерение, до сих пор в ней еще не достигнуты ни чувствительность, ни разрешающая способность черно-белой фотографии. Особые методы извлечения дополнительной информации имеет смысл применять только для черно-белых негативов.

Для использования этих методов записанное изображение следует подготовить таким образом, чтобы при рассматривании его глазом или при электронном преобразовании заключенная в нем информация была извлечена как можно полнее, что может быть достигнуто путем применения ряда дополняющих друг друга методов. Проблема оптимального распознавания при рассматривании глазом связана прежде всего с вопросами физиологического и психологического восприятия, которые здесь не затрагиваются.

Основной целью этой книги является описание и рас-

смотрение путей и способов обработки информации, которые позволяют увеличить количество извлекаемой информации по сравнению с обычными способами фотографической обработки и воспроизведения. Отправной точкой в этом случае является готовый фотографический негатив, в связи с чем все возможности повышения информационно-й емкости снимка с помощью съемочной техники не будут рассматриваться. Особое внимание будет уделено прежде всего извлечению информации при двумерной регистрации изображения, характерной для фотографического метода. Процессы регистрации с применением электроники, для которых характерна одномерная регистрация, будут рассмотрены очень кратко, однако из этого не следует, что такой способ регистрации недооценивается. На ряде практических примеров, приведенных в этой книге, показана полезность одновременно-го использования фотографической пластинки и фотографического и электронного преобразования (Круг [92]).

Для того чтобы описанные в этой книге методы были понятны широкому кругу читателей, особое значение придается подробному описанию работ и примерам применения. Но, поскольку нельзя пренебречь новой терминологией, употребляемой в теории передачи информации, для лучшего понимания рассматриваемой проблемы будет сделана попытка представить эти методы в более доступном виде.

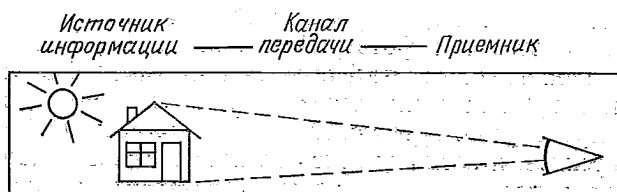
2.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

2.1. Фотографический канал передачи

Человек видит окружающий его мир с помощью органов зрения. При этом необходимым является следующее: объекты должны сами излучать свет или освещаться источниками света. В общем случае наблюдатель способен воспринимать распределение яркостей объектов.

В соответствии с терминологией теории информации вышеупомянутый объект является источником информации или источником сообщений. Если объект сам является источником света или же освещен другим источником, он определяется как передатчик. Распределение яркостей, излучаемых в виде двумерного сигнала, представляет собой информацию об объекте. Переносчиком информации (сигналом) является видимая часть спектра — свет, приемником — глаз наблюдателя.

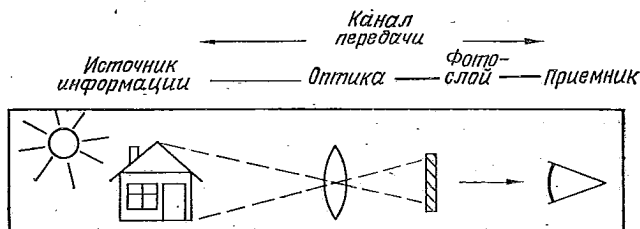


Фиг. 1. Канал передачи информации.

Простейший процесс наблюдения понимается и описывается как система передачи информации (фиг. 1).

В этом простейшем случае передача информации осуществляется с помощью света, проходящего от источника информации к приемнику через находящуюся между ни-

ми среду, т. е. через воздух. Вследствие квантовой структуры света, а также из-за турбулентности воздуха, тумана, пыли и т. п. в канале передачи информации возникают помехи (шумы). Аналогичный канал передачи информации можно представить и для фотографической системы (фиг. 2). Источник информации и приемник остаются

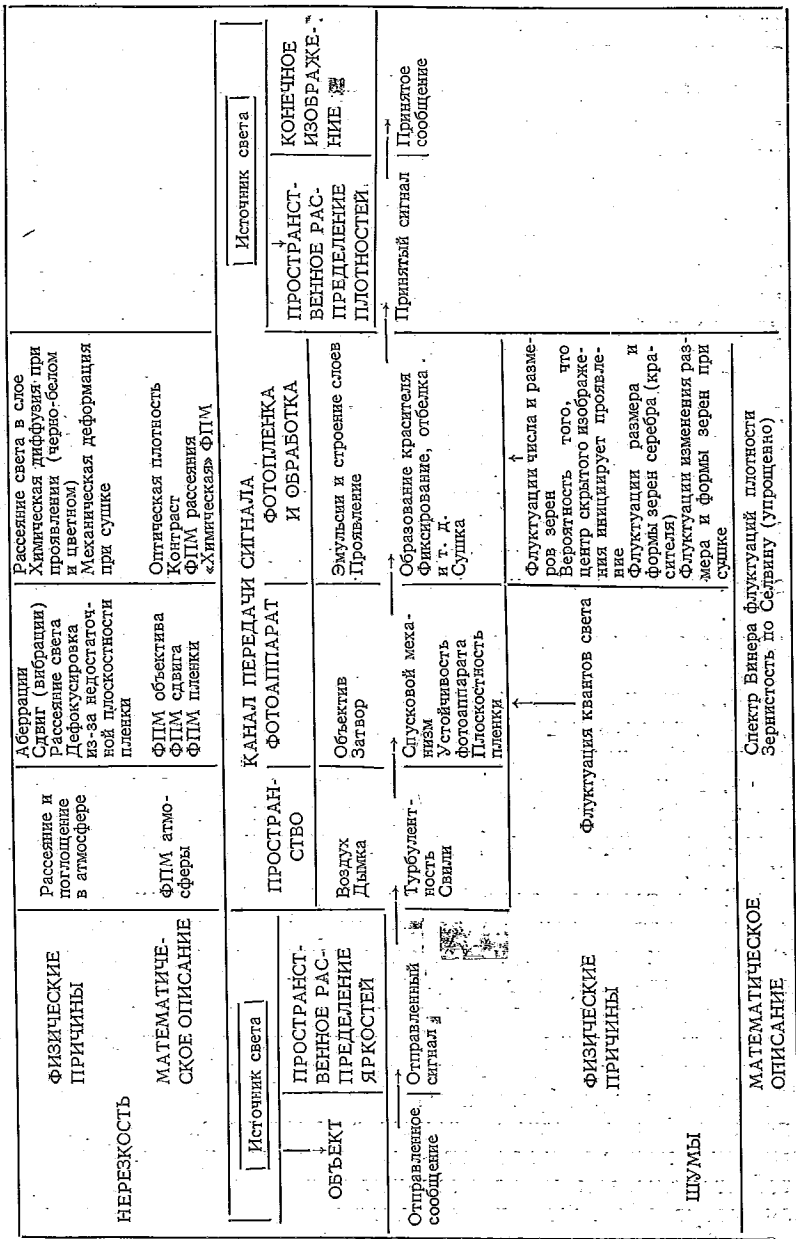


Ф и г. 2. Фотографическая система передачи информации.

теми же, однако передаточный канал в самом простом случае состоит из системы воспроизведения изображения, например фотоаппарата и фотографического слоя, который дает наблюдателю при рассмотрении негатива переданную информацию, причем в определенной форме (обращенные черные и белые тона).

Качество передающей системы в этом случае зависит уже не только от действия помех в передающем информацию свете и среды, через которую он проходит. Теперь необходимо учитывать передаточные характеристики оптической системы и фотографического материала. Для случая идеальных условий съемки помехами, возникающими при прохождении света через окружающую среду, можно пренебречь. При использовании оптики, не имеющей дефектов, и когда объект съемки не имеет большого перепада яркостей передаточные параметры оптики и фотографического слоя описываются теорией передачи информации (см. разд. 2.3).

Пример типичной оптико-фотографической передающей системы показан на фиг. 3. Канал передачи информации разложен на отдельные составляющие элементы. Причины возможных источников помех и их описание представлены в виде таблицы в работе Лангнера [107].



Ф и г. 3. Оптико-фотографическая система передачи информации (по Лангнеру).

При введении фотографического материала в канал передачи информации этот канал приобретает новое качество — становится стабильным во времени. В отличие от прямого наблюдения объекта в этом случае заданное распределение яркостей в объекте может быть зарегистрировано и накоплено через определенный интервал времени. Фотослой действует так же, как двумерный накопитель информации. Наблюдатель может сколько угодно часто использовать информацию, записанную в виде черно-белого негатива.

Для того чтобы зарегистрировать изменения распределения яркостей объектов во времени, обычно приходится делать большое количество снимков. Однако в том случае, когда накопитель информации является двумерным, этот недостаток компенсируется другими преимуществами передаточной системы:

1. Накопленная информация может быть преобразована, видоизменена и обработана различными способами.

2. Накопленную информацию о параметрах быстро изменяющихся объектов можно в дальнейшем спокойно преобразовать.

3. Накопленную информацию можно сколько угодно долго хранить и воспроизводить каждый раз, когда возникает необходимость в ее использовании.

4. Накопленная информация может быть относительно просто размножена (копирование) и передана далее (как промежуточная форма процесса передачи информации).

5. Благодаря способности фотографических слоев суммировать в течение длительного времени свет очень слабой интенсивности (аккумулирующая способность) может быть получена дополнительная информация.

Все другие дополнительно введенные между накопителем информации (черно-белым негативом) и приемником (наблюдателем) процессы фотографической обработки или преобразования (например, изготовление позитива), несомненно, удлиняют канал передачи информации и могут явиться источниками новых шумов. С другой стороны, эти дополнительные включения в канал связи могут облегчить наблюдателю процесс восприятия (преобразования) накопленной информации.

Для описания подобной расширенной информационной системы должны быть известны передаточные характеристики процессов преобразования или фотографической обработки. Пути извлечения информации из фотографического черно-белого негатива должны предусматривать специфические процессы преобразования и обработки. Для описания передаточных характеристик этого процесса вместо описания всего объединенного передаточного канала *источник информации — оптика — фотографический детектор — преобразование и обработка — приемник* основное внимание следует обращать на последнюю часть канала передачи, в которой идет накопление информации и которую можно рассматривать как новый источник информации.

Чтобы полнее рассмотреть возникшие здесь проблемы, ограничим изучение канала передачи информации этой последней его частью. Влияние оптических составляющих канала передачи на информационные свойства системы подробно описано в работах Дюфье [29], Ломанна [141] и Рёлера [166]¹.

2.2. Характеристики фотографического слоя

Фотографический слой накапливает оптическую информацию, при этом наложенное распределение яркостей переходит в нем в стабильное распределение оптических плотностей. При освещении фотоснимка каждый раз можно извлекать внесенную информацию, поскольку проходящий свет ослабляется в соответствии с распределением плотностей в слое, благодаря чему будет снова возникать соответствующее распределение интенсивностей. В общем случае наложенное и восстановленное распределения яркостей не являются идентичными. Важнейшие соотношения, связывающие эти распределения, кратко рассмотрены ниже.

¹ См. также монографию Марешаля А. и Франсона М. «Структура оптического изображения» (перевод с французского, изд-во «Мир», 1964). Помимо свойств оптического изображения, в ней изложены основные вопросы информационной оценки изображения и некоторые сведения о свойствах фотографического слоя. — *Прим. ред.*

Хорошо известно, что в экспонированном фотослое под действием света определенное количество микрокристаллов галогенида серебра приобретает способность к проявлению пропорционально наложенной яркости. Это образование, называемое *скрытым изображением*, становится видимым и стабильным в результате проявления и фиксирования эмульсионного слоя. При освещении слоя ослабление света отдельными зернами интегрируется и образуется негативное черно-белое изображение зарегистрированного распределения яркостей.

Взаимосвязь между экспозицией (произведением наложенной интенсивности освещенности I и времени экспонирования t) и проявленной плотностью D (в серебряном изображении — почернение) описывается характеристической кривой (кривой почернений или плотностей)

$$D = f(\lg It).$$

Согласно Хартеру и Дрифилду [74], плотность D определяется как десятичный логарифм ослабления света O или обратная величина пропускания света T ($O = 1/T = I_0/I$), прошедшего через слой

$$D = \lg O = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I}. \quad (1)$$

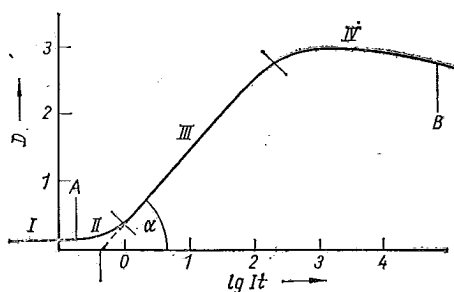
Для определения плотности D световой пучок интенсивностью I_0 пропускают через измеряемый участок на фотопластинке и затем измеряют интенсивность пучка I после прохождения почернения. Из отношения I_0/I определяют непрозрачность O и пропускание T и по формуле (1) — оптическую плотность D . Взаимосвязь между измеренным почернением и наложенной экспозицией выражается характеристической кривой фотоматериала. Характеристические кривые обычно представляют собой зависимость плотности почернения D от логарифма экспозиции, как это показано на фиг. 4.

Всю характеристическую кривую фотоматериала можно разделить на ряд участков:

1) начало характеристической кривой с постоянным почернением — вуаль I , плотность которой зависит от условий фотографической обработки и свойств фотомате-

риала. Это почернение проявляется на неэкспонированном фотоматериале;

2) начало возрастания почернения A с увеличением экспозиции — порог почернения II . Эта область называется начальным участком (областью недодержек) или «подъемом» характеристической кривой. Она простирается до прямолинейного участка III — рабочей части характеристической кривой. С увеличением экспозиции прямолинейный участок III характеристической кривой переходит в область передержек IV , в которой наблюда-



Ф и г. 4. Характеристическая кривая фотоматериалов.

ется насыщение. Для ряда фотографических материалов после достижения максимального почернения на кривой имеется область соляризации B , где плотность почернения уменьшается с увеличением экспозиции. Точка пересечения продолженного прямолинейного участка с осью абсцисс (экспозиция) называется *точкой инерции*. Хартер и Дрифилд [74] предложили использовать положение точки инерции в качестве критерия светочувствительности фотографического слоя¹. Наклон прямолинейного участ-

¹ Ранее, на основании рекомендации Международной организации по стандартизации (ИСО) были выработаны единые предложения по определению чувствительности черно-белых фотографических материалов.

Поскольку в отдельных странах чувствительность определяется по различным критериям, существует таблица пересчета значений чувствительности, измеренных в различных системах.

ка характеристической кривой определяет градационные свойства определенного фотоматериала. Градация, обозначаемая γ , определяется как

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta D}{\Delta (\lg It)} \quad (2)$$

Таким образом, γ — тангенс угла наклона α характеристической кривой к оси экспозиции¹.

Однако параметры, полученные с помощью характеристической кривой, не полностью характеризуют фотоматериал. Использование дополнительных тест-объектов или тест-изображений позволяет изучить другие важнейшие свойства фотослоя. В частности, существенным параметром является передача контраста объекта фотоэмульсионным слоем.

Контраст двух участков изображения можно выразить следующим образом:

$$K = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \quad (I_1 > I_2), \quad (3)$$

Принятая в ГДР обязательная система мер для определения чувствительности TGL 16150 (Технические нормативы и условия поставок) по смыслу соответствует стандарту ДИН 4512, лист 1, октябрь 1961 г. («Негативный материал для художественных черно-белых съемок. Определение светочувствительности»).

Обе системы в соответствии с рекомендациями ИСО основаны на количестве света, необходимом для того, чтобы после проявления образовалась плотность почернения $D=0,1$ над плотностью вуали. Чувствительность выражается в ДИН, например 15 ДИН.

Поскольку Американская организация по стандартизации (АСА), так же, как Англия и Франция, придерживаются рекомендаций ИСО, возможен точный пересчет величин чувствительности, определенных по различным системам; например, 15 ДИН = 25 АСА.

В СССР, в отличие от общепринятых критериев чувствительности, рекомендованных ИСО ($D=0,1$ над вуалью), в соответствии с новым ГОСТ 10,691-63, используется критерий 0,85 над плотностью вуали. При этом, в зависимости от типа фотоматериала, их необходимо проявлять до определенных значений коэффициента контрастности. Например, малоформатные и роликовые пленки проявляются до $\gamma=0,80$ (см. также работу Тейхера [178]).

¹ Более подробные сведения о методах испытания фотографических материалов и их сенситометрических характеристиках можно почерпнуть в работах Гороховского и Левенберг [11*], а также Гороховского и Барановой [13*]. — *Прим. ред.*

где I_1 и I_2 — интенсивность света, прошедшего через соответствующие плотности почернения D_1 и D_2 , а само изображение освещено светом с интенсивностью I_0 .

При слабых контрастах, а также в тех случаях, когда $I_2 \cong I_1$, контраст изображения K_B связан с контрастом объекта соотношением

$$K_B = \gamma K_0.$$

Таким образом, градация является определяющей для фотографической передачи контраста объекта. Диапазон между наименьшим и наибольшим контрастом в пределах одного изображения называется *интервалом контраста*. Взаимосвязь интервала контраста с интервалом почернений изображения описывается формулами (3) и (1). Интервал почернений включает область почернений ΔD от наименьших до наибольших плотностей, входящих в изображение. Интервал почернений или интервал контраста является определяющим для правильного копирования или точного дешифрирования негатива.

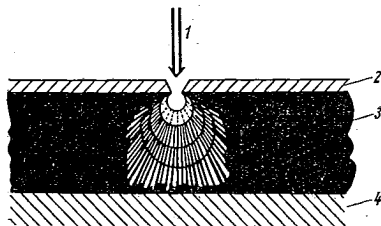
Градация, контраст изображения и интервал почернений обуславливают следующую важную характеристику фотографического слоя — *разрешающую способность* R . Под разрешающей способностью понимают свойство фотографического материала передавать раздельно близко расположенные элементы изображения. Она выражается числом линий (периодов) на миллиметр (линия/мм), которые раздельно различаются на проявленном фотографическом слое. Разрешающая способность в общем случае измеряется путем печати на фотослой решеток (мир) с различной частотой штрихов (Муттер [151]). Для измерения очень высоких значений R наиболее пригодны интерференционные методы, позволяющие достигать больших чисел линий на 1 мм в поверхности слоя (Вольфе, Эйзен [195], Польце [156]). Разрешающая способность не является постоянной для всего линейного участка характеристической кривой. Для всех фотоматериалов существует резко выраженный максимум разрешающей способности, соответствующий относительно узкому интервалу экспозиций (Лау, Иоганнессон [117]). На фиг. 5

показана зависимость R от экспозиции для случая мелкозернистого выравнивающего проявления (Леви [137])¹. Наряду с уже упоминавшимися параметрами эмульсионного слоя разрешающая способность зависит также от рассеяния света в слое и зернистости фотографического слоя.



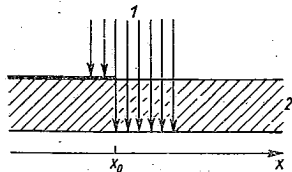
Фиг. 5. Зависимость разрешающей способности R от экспозиции [137].

Влияние рассеяния света в эмульсионном слое можно оценить, включив понятие о *резком крае*. Согласно Фризеру и Кляйну (см. [39]), резкость края изображения можно выразить численно, используя число Фризера k . При наложении резкого края вследствие рассеяния света на микрокристаллах галогенида серебра происходит расширение изображения. На фиг. 6 схематически показано рассеяние света



Фиг. 6. Схематическое представление рассеяния света в слое.

1 — падающий свет; 2 — щель; 3 — эмульсия; 4 — подложка.

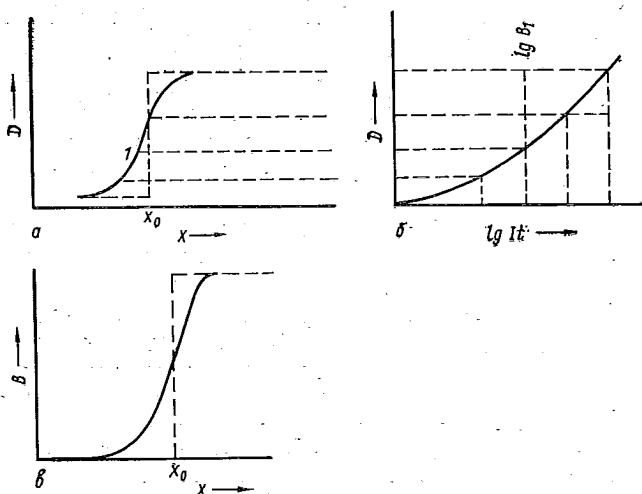


Фиг. 7. Расширение наложенного резкого края.

1 — падающий свет; 2 — эмульсия.

¹ Методы измерения разрешающей способности, результаты измерений, зависимость разрешающей способности от величины экспозиции и ряда других факторов, существенных для практики, в частности причины несоответствия между разрешающей способностью и резкостью изображения, рассматриваются в работах Гороховского и Левиной [12*], Гороховского и Барановой [13*], Вифанского и Гороховского [9*], Истомина [19*, 20*, 21*], Грибакина и Истомина [15*], Истомина и Сигинура [24*]. — Прим. ред.

в эмульсионном слое. Как показано на фиг. 7, это ведет к расширению наложенного резкого края. Из распределения плотностей (фиг. 8, а) по характеристической кривой (фиг. 8, б) можно рассчитать действующую экспозицию B (фиг. 8, в). Чтобы исключить роль характеристической кривой, Фризер ввел определение числа k как расстояние (в микронах) от геометрической границы края



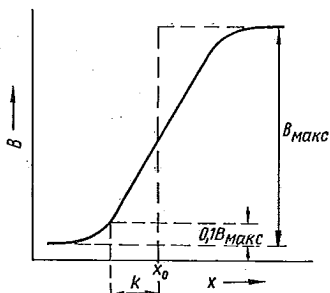
Фиг. 8. Схема вычисления «действующей экспозиции».

а — распределение плотностей почернений края; б — характеристическая кривая фотоматериалов; в — распределение «действующей экспозиции».

до участка изображения края, где действующая освещенность составляет $1/10$ максимальной освещенности (фиг. 9)¹. Фризер рекомендует определять число k , экс-

¹ В тексте и на фиг. 9 дается неточное представление об определении величины k по Фризеру. В действительности расстояние между геометрической границей края (точкой x_0) и участком, где действующая освещенность составляет $1/10$ максимальной, равно $0,4 k$. Величина, равная $0,5 k$, соответствует точке, при которой освещенность снижается до $1/20$ максимальной освещенности. В результате рассеяния света в эмульсионном слое изображение светящейся точки (или бесконечно тонкой линии) преобразуется в пятно

понируя на фотослой непрозрачную полосу шириной 15 мкм. Значения числа k обычно лежат между 20 мкм для мелкозернистых малоформатных пленок и 40—50 мкм для высокочувствительных слоев. Численное уменьшение значений k соответствует также повышенной резкости изображения. Кривые резкого края и кривые разрешающей способности не являются идентичными.



Фиг. 9. Определение числа k по Фризеру.

Одинаковой разрешающей способностью могут обладать фотоматериалы, имеющие, например, размытый край и мелкие микрокристаллы или хорошую резкость края и крупное зерно. На практике следует стремиться к использованию фотослоя с повышенной разрешающей способностью и лучшей резкостью края.

Зернистость обусловлена размерами эмульсионных микрокристаллов (перед проявлением — микрокристаллов галогенида серебра, после проявления — серебряных зерен). Вследствие зернистости фотографического слоя имеют место статистические колебания чувствительности, связанные с количеством и распределением микрокристаллов в эмульсионном слое. Поэтому определение почернений малых размеров является менее точным. При увеличении зернистость может быть несколько уменьшена, если процесс копирования ведется в диффузном свете, тогда как печать парал-

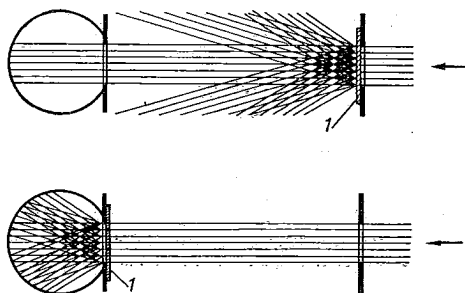
(или в полосу) с некоторым распределением энергии — функцию рассеяния. Метод Фризера дает возможность оценить эффективную ширину этой функции. Она измеряется на уровне, соответствующем снижению освещенности до $1/10$ по сравнению с освещенностью в центре светящейся линии, а не на крае изображения. Иначе говоря, определяется эффективная ширина рассеяния светящейся линии, схематически представленной на фиг. 6. Следует иметь в виду, что резкость фотографического изображения пропорциональна коэффициенту контрастности (градиенту воспроизведения) и обратно пропорциональна величине параметра k по Фризеру. — *Прим. ред.*

лельным пучком света способствует увеличению зернистости.

Калье еще в 1909 г. установил зависимость между почернениями, измеренными в параллельном и диффузном пучках света:

$$Q = D_{\parallel} / D_{\#} \text{ (коэффициент Калье).}$$

Величина этого коэффициента зависит от размера проявленных зерен серебра. Различие в величинах почернений, измеренных в параллельном и диффузном пучках света, называется *эффектом Калье*. Используя этот эффект, Эггерт и Кюстер [30] разработали метод



Фиг. 10. Принцип измерения зернистости [30].

1 — измеряемое почернение.

измерения зернистости (фиг. 10), предложив использовать величину K в качестве меры зернистости:

$$K = 100 \lg Q = 100 \lg (D_{\parallel} / D_{\#}).$$

Однако величина K не является мерой способности увеличения негатива.

Здесь следует указать, что разрешающая способность и точность воспроизведения изображения фотографическим слоем зависят от эффектов усадки и искажений¹,

¹ Эффект Росса, эффект Костинского, эффект края; см. работы Ангерера и Юса [3] и Муттера [151].

обусловленных проявлением, фиксированием, промывкой, сушкой или последующей обработкой негатива. Эти эффекты в значительной степени ограничивают точность измерений на фотоматериалах. Точность измерений для фотопластинок изменяется в пределах порядка нескольких микрон.

2.3. Фотографическая информация. Функция передачи модуляции

Фотографический снимок — фотограмма — имеет плоскую поверхность и поэтому является двумерным накопителем информации. Каждая точка P этой поверхности имеет две пространственные координаты x и y :

$$P(x, y).$$

Совокупность всех точек $P(x, y)$ составляет поверхность снимка. Для каждой точки $P(x, y)$ снимка следует определить плотность почернения, являющуюся безразмерной величиной. Для построения распределения почернения всех точек $P(x, y)$ используется трехмерная модель, а поверхность почернения определяется как

$$D = f(x, y).$$

Информация, накопленная в фотограмме, содержится в участках почернения самой разнообразной формы (сигналах). Записанную в фотограмме информацию наиболее целесообразно разделить на две группы — *большие площади* и *детали*. Эти понятия используются едва ли не с момента возникновения фотографии до сих пор. Так, информация о снимке, выраженная в виде характеристической кривой, должна быть отнесена к большим площадям, тогда как данные о разрешающей способности и резком крае метрологически следует отнести к информации о деталях.

В известных работах Фризера [39] по исследованию воспроизведения мелких деталей была доказана правомерность такого деления и, кроме того, показано, что для мелких деталей макрохарактеристические кривые

непригодны¹. Грубое разделение на большие площади и детали не соответствовало более сложному распределению информации в снимке. Поэтому необходимо было найти новый способ выражения, который позволил бы анализировать накопленную информацию во всех ее многочисленных формах. Другими словами, требовалось найти метод, который достаточно тонко дифференцировал бы элементы изображения, начиная от мельчайших деталей в пределах величины разрешающей способности до больших площадей, и одновременно решался метрологически. Эта проблема была решена использованием метода передачи частот аналогично тому, как это делается в технике связи (Дюфье [29], Линфут [138], Перрин [154]). От «частоты времени»² — частоты колебаний, используемой в технике связи, в оптике и фотографии, — перешли к пространственным и объемным частотам. В этом случае аналогично преобразованиям, используемым в технике связи, любое распределение интенсивности в объекте можно анализировать с помощью теории Фурье.

Информацию, накопленную в фотоснимке, можно анализировать этим способом, если действующая экспозиция, ведущая к распределению почернений, определяется из характеристической кривой.

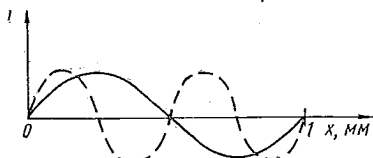
Основной принцип фурье-анализа заключается в том, что любое заранее заданное распределение интенсивностей может быть разложено в сумму синусоидальных или косинусоидальных колебаний. Частоты отдельных колебаний являются гармониками основной частоты. Амплитуды этих так называемых гармонических функций

¹ Строго говоря, такое представление не совсем точно. В своих работах Фризер использует макрохарактеристическую кривую для определения действующей освещенности при формировании изображения мелкой детали или распределения действующей освещенности в изображении края, как это было показано выше (см. фиг. 8). — *Прим. ред.*

² В работе Перрина [перевод опубликован в журнале «Успехи физических наук», 78, стр. 307 (1962)] изложены основы теории формирования изображения, сущность разрешающей способности и причины ее несоответствия с резкостью, вопросы оценки качества оптического и фотографического изображений и применения фурье-преобразований к решению ряда практических задач. — *Прим. ред.*

должны быть выбраны таким образом, чтобы их сумма давала исходное распределение интенсивностей.

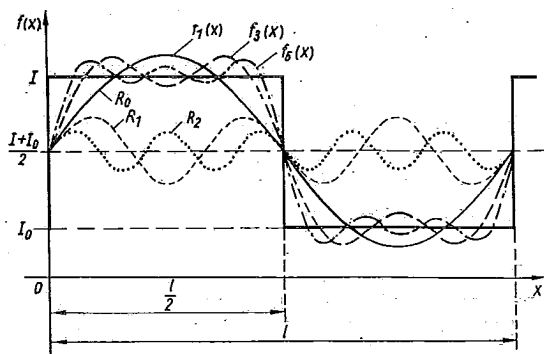
Например, если предположить, что деталь имеет синусоидальное распределение интенсивностей, что очень часто наблюдается для малых фотографических деталей



Фиг. 11. Изображение пространственной частоты.

— $R=1$ линия/мм, $g=1$ мм; — — — $R=2$ линия/мм, $g=0,5$ мм.

из-за эффектов рассеяния в слое, то необходимость в дальнейшем разложении отпадает. Проблему составляет лишь точное измерение пространственных частот. Пространственная частота R выражается числом колебаний (линий, периодов) на 1 мм (фиг. 11). Под понятием



Фиг. 12. Фурье-аппроксимация прямоугольного раstra.

«размер детали» в данном случае понимают половину значения колебания пространственной частоты с соответствующей константой решетки (миры): $g=1/R$ (в мм).

Если же распределение интенсивностей в детали не имеет синусоидальной формы, наряду с основной частотой

той следует использовать еще более высокие гармонические пространственные частоты. Спектр пространственных частот детали можно получить, используя разложение Фурье. В качестве примера фурье-преобразования на фиг. 12 показано распределение интенсивностей $f(x)$ в прямоугольном растре с функцией первого приближения $f_1(x)$ и фурье-преобразованием $f_3(x)$ и $f_5(x)$.

Используя общую формулу для рядов Фурье

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos 2\pi n \frac{x}{l} + b_n \sin 2\pi n \frac{x}{l} \right)$$

и формулы для коэффициентов a_n и b_n , которые представляют собой абсолютные значения амплитуд отдельных компонент частот,

$$a_n = \frac{2}{l} \int_{-l/2}^{l/2} f(x) \cos 2\pi n \frac{x}{l} dx,$$

$$b_n = \frac{2}{l} \int_{-l/2}^{l/2} f(x) \sin 2\pi n \frac{x}{l} dx,$$

можно получить следующее выражение рядов Фурье для представленной на фиг. 12 функции $f(x)$:

$$\begin{aligned} f(x) = \frac{I+I_0}{2} + \frac{2}{\pi} (I-I_0) \left[\sin 2\pi \frac{x}{l} + \frac{1}{3} \sin 3 \cdot 2\pi \frac{x}{l} + \right. \\ \left. + \frac{1}{5} \sin 5 \cdot 2\pi \frac{x}{l} + \dots \right] = \frac{I+I_0}{2} + \frac{2}{\pi} (I-I_0) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2m+1} \times \\ \times \sin (2m+1) 2\pi \frac{x}{l}. \end{aligned}$$

Введя для сокращения использованное в разд. 2.2 понятие о контрасте

$$K = \frac{I-I_0}{I+I_0},$$

получим известную формулу

$$f(x) = \frac{I+I_0}{2} \left[1 + \frac{4}{\pi} K \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2m+1} \sin \left(2m + \right. \right. \\ \left. \left. + 1 \right) 2\pi \frac{x}{l} \right]. \quad (1)$$

Если суммирование в формуле (1) проводится не до бесконечности, то будут получены приближенные значения для функции $f(x)$. Ограничение на первом члене уравнения дает так называемое нулевое приближение $f_1(x)$, которое содержит лишь постоянный член $(I+I_0)/2$, средний контраст объекта и основную частоту R_0 :

$$f_1(x) = \frac{I+I_0}{2} \left[1 + \frac{4}{\pi} K \sin 2\pi \frac{x}{l} \right].$$

Для последующих приближений получаем

$$f_3(x) = \frac{I+I_0}{2} \left[1 + \frac{4}{\pi} K \sin 2\pi \frac{x}{l} + \frac{4}{3\pi} K \sin 3 \cdot 2\pi \frac{x}{l} \right],$$

$$f_5(x) = \underbrace{\frac{I+I_0}{2}}_{\text{Средний контраст объекта}} \left[1 + \underbrace{\frac{4}{\pi} K \sin 2\pi \frac{x}{l}}_{\text{Основные колебания (частота } R_0)} + \underbrace{\frac{4}{3\pi} K \sin 3 \cdot 2\pi \frac{x}{l}}_{\text{Первая гармоника (частота } R_1)} + \right. \\ \left. + \underbrace{\frac{4}{5\pi} K \sin 5 \cdot 2\pi \frac{x}{l}}_{\text{Вторая гармоника (частота } R_2)} \right].$$

Коэффициенты $(4/\pi)K$, $(4/3\pi)K$ и $(4/5\pi)K$ являются амплитудами колебаний. Как следует из фиг. 12, уже второе приближение, являющееся суммой основных колебаний с частотой R_0 , первой гармоники с частотой R_1 и второй гармоники с частотой R_2 , дает достаточно хорошее совпадение с действительным распределением интенсивностей.

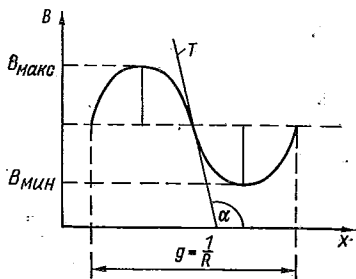
Для полного воспроизведения идеализированного распределения интенсивностей необходимо бесконечно большое число слагаемых. В фотографической практике

этот случай, разумеется, не может быть реализован, поскольку разрешающая способность фотослоя и спектр пространственных частот накопленной информации являются конечными величинами. Для практического анализа распределения интенсивностей или плотностей вполне достаточно конечного значения числа гармоник.

Как следует из математического фурье-анализа, наряду с пространственной частотой для описания заданного распределения интенсивностей необходимо учитывать еще одну величину — контраст K , определяющий амплитуду колебаний.

На фиг. 13 сопоставлены размеры элементов изображения с синусоидальным изменением интенсивности, для которых распределение интенсивности может быть воспроизведено с помощью фурье-анализа. Задавая контраст $K = (I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}) / (I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}})$ и пространственную частоту $R = 1/g$, можно с уверенностью описать изменение интенсивности. Однако в практической терминологии очень часто встречается градиент элементов изображения, представляющий собой вектор, величина и направление которого определяют подъем самых крутых частот в распределении интенсивности. На фиг. 13 в точке, обозначенной тангентой T , происходит поворот синусоидального распределения. Тангенс угла наклона α дает величину подъема в точке поворота. Участок почернения в принципе также может быть описан полем градиентов. Поскольку в фотографическом слое исключительно синусоидальное распределение имеют только мелкие детали, для заданных пространственных частот и контраста целесообразно использовать векторное описание с градиентами.

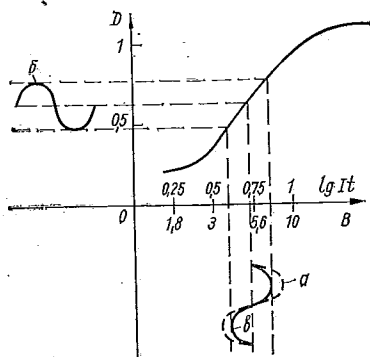
На основании приведенных выше рассуждений можно сделать следующее заключение: с помощью фурье-ана-



Фиг. 13. Определение размеров элемента изображения.

лиза накопленная двумерная¹ информация может быть снова разложена на основные элементы (сигналы), которые можно однозначно определить, задавая два параметра — *пространственную частоту* и *контраст*. Сумма всех сигналов описывает и позволяет измерить информационную емкость фотографии.

В дальнейшем следует ввести понятие о способности передачи информации фотослоем и изучить эти свойства. Для более точного описания передаточных характеристик фотослоя необходимо



Фиг. 14. Передача контраста фотографическим слоем.

a — наложенное распределение интенсивностей; *b* — результирующее распределение интенсивностей; *в* — распределение действующих экспозиций.

исследовать передачу отдельных, не зависящих друг от друга пространственных частот. При этом измерения сильно упрощаются, если используется тест-объект с синусоидальным распределением интенсивностей. Такой тест-объект с известным контрастом K_0 и определенной пространственной частотой R впечатывается в фотослой. После проявления фотослоя образовавшееся распределение почернений пересчитывается с помощью характеристической кривой

в действующие экспозиции, которые привели к распределению почернений. При идеальном способе передачи контраст наложенной интенсивности должен соответствовать контрасту, рассчитанному по действующей экспозиции.

Из-за источников помех в фотографическом слое, например рассеяния света, кванты излучения попадают на те участки эмульсии, которые не должны быть экспони-

¹ В описанном примере разложения Фурье использована одномерная структура (решетка). Поскольку фотографическая пластинка не имеет преимущественного направления записи информации, этот результат вполне пригоден для общего случая двумерной регистрации.

рованы, и, наоборот, могут не попасть в те участки слоя, которые следует интенсивно экспонировать. Это приводит к тому, что наложенное распределение интенсивностей при воспроизведении размывается и контраст передаваемых пространственных частот уменьшается. Для более высоких пространственных частот последний эффект соответственно усиливается. На фиг. 14 схематически представлен этот процесс.

Пространственная частота с контрастом K_0 (кривая *a*) налагается на фотослой и в соответствии с характеристической кривой дает в нем распределение почернений (кривая *б*). В этом процессе участвуют упомянутые выше источники помех, вследствие чего при обратном пересчете с использованием характеристической кривой в действующее распределение экспозиций та же пространственная частота передается с контрастом K_B (кривая *в*).

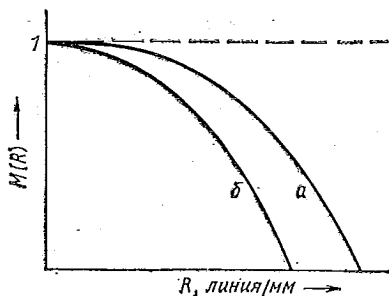
Частное от деления K_0 и K_B для пространственной частоты называется коэффициентом передачи модуляции $M(R)$ для этой пространственной частоты:

$$M(R) = \frac{K_B(R)}{K_0(R)}.$$

Поскольку степень падения контраста зависит от пространственной частоты и к тому же быстро возрастает с ее увеличением, коэффициент передачи контраста следует представлять как функцию пространственной частоты; таким образом получают функцию передачи модуляции (ФПМ)¹ (Рудольф [168], Ломанн [141], Лангнер и Мюллер [108], Фризер [40]).

¹ Это сильно упрощенное представление фотографической функции передачи модуляции (прежние названия — функция передачи контраста, ход частоты) основывается на идеализированных предположениях о полностью линейном процессе передачи фотослоем, когда весь интервал экспозиций распределен в линейной части характеристической кривой при градации $\gamma=1$. Однако в общем случае передача объекта описывается комплексной функцией. При этом абсолютный ход функции является фактором, определяющим степень ослабления сигнала объекта синусоидальной формы при наложении на него модуляции в соответствии с пространственной частотой. За счет мнимой части комплексной функции описывается фазовый фактор ФПМ. Фазовая составляющая дает возможное зависящее от про-

Аналогично ФПМ при фотографической передаче описываются функции передачи модуляции других звеньев передаточного канала — фотографической оптики, атмосферы. Умножение отдельных функций передачи модуляции дает ФПМ всего канала передачи. На фиг. 15



Фиг. 15. Функция передачи модуляции фотографических слоев. а — фотослой с высоким разрешением; б — фотослой с низким разрешением.

приведены функции передачи модуляции типичных фотографических слоев (на оси ординат отложены значения коэффициента передачи модуляции, на оси абсцисс — пространственная частота).

Функция передачи модуляции уменьшается с возрастанием пространственной частоты и при определенном ее значении становится равной нулю. Точка пересечения кривой ФПМ с осью пространственных частот дает числовое значение разрешающей способности¹ фотослоя.

пространственной частоты смещение синусоидальной решетки в изображении по сравнению с исходной решеткой. С учетом сделанных предположений ФПМ фотослоя фактически представляет собой зависимость отношения контраста изображения к контрасту объекта от пространственной частоты (см. также работу Линфута [139, стр. 34 и сл.]).

¹ Разрешающая способность определяется предельным контрастом фотографического изображения, при котором наблюдатель перестает различать штрихи решеток. Этот предельный контраст зависит от ряда факторов, в частности от степени зернистости изображения. В результате истинное значение измеренной разрешающей способности, строго говоря, всегда меньше значения, соответствующего частоте, при коэффициенте передачи модуляции, равном нулю. — Прим. ред.

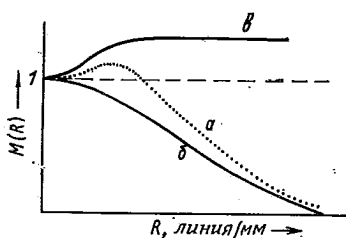
Все предыдущие рассуждения применимы лишь для линейной передаточной системы. Это значит, что фотографический слой должен каждый раз воспроизводить любой элемент изображения независимо от соседних элементов изображения и в соответствии с наложенной экспозицией. Этот случай реализуется лишь тогда, когда при фотографической обработке отсутствует эффект смежных мест или другие эффекты проявления.

Эффект смежных мест и другие эффекты проявления имеют следующий механизм: на проявление тех участков изображения, где образуется большое количество серебра, расходуется довольно большое количество проявителя. Одновременно образуются в значительном количестве продукты окисления проявителя, сильно тормозящие процесс проявления. Эти продукты окисления диффундируют к тем участкам изображения, экспозиция которых была меньше, и тормозят проявление этих участков. Кроме того, в интенсивно проявляющихся местах изображения расходуется проявитель из окружения. Как показано в работе Хендеберга [58], эффект смежных мест можно в значительной степени ослабить, используя проявление с кистью. Однако нельзя говорить о том, что эффект смежных мест нежелателен во всех случаях, так как он способствует усилению резкости снимка. Поскольку при проявлении с эффектом смежных мест не могут выполняться предположения, позволяющие применять теорию передачи, для этих случаев необходимы соответствующие понятия и методика измерений. Полученные таким образом кривые передачи модуляции приведены на фиг. 16. Кривая *a* представляет собой типичную ФПМ при проявлении с эффектом смежных мест. Эту результирующую кривую ФПМ можно разложить на отдельные составляющие: ФПМ рассеяния света в слое (кривая *b*) и ФПМ эффекта смежных мест (кривая *в*).

— Следует еще раз отметить, что это расширение границ применения ФПМ является преимущественно качественным описанием системы с эффектом смежных мест.

2.4. Информационная емкость фотографического слоя

В предыдущем разделе было показано, что информация фотографического изображения может быть вновь представлена в виде двумерных пространственных функций — сигналов. Задавая пространственную частоту R и контраст K , можно однозначно определить оптический сигнал. Поэтому информационная емкость фотографического



Фиг. 16. Проявление с эффектом смежных мест.

a — суммарная ФПМ эффекта смежных мест с рассеянием света; b — ФПМ рассеяния света; v — ФПМ эффекта смежных мест.

слоя определяется количеством различных сигналов, которые могут быть накоплены 1 см² фотографического слоя. Количество различающихся между собой сигналов зависит как от числа возможных пространственных частот, которые разделятельно передает фотографический слой, так и от числа ступеней контраста в пределах одной пространственной частоты. Ко-

личество передаваемых пространственных частот определяется и ограничивается разрешающей способностью фотографического слоя. Поскольку разрешающая способность соответствует определенной области пространственных частот, это ведет к ограничению «полосы пропускания» частот фотографическим слоем как накопителем информации.

При определении числа различающихся градаций контраста на выбранной пространственной частоте следует учитывать функцию передачи модуляции $M(R)$. Ход кривой ФПМ в большой степени зависит от зернистости фотографического слоя, которая является причиной статистических помех при передаче сигнала и представляет собой «шум» накопителя. Зернистость ведет не только к рассеянию света в эмульсионном слое при экспонировании, но и к статистическим колебаниям в прояв-

ленном изображении, что ограничивает передачу почернений малой площади.

Зернистость зависит от плотности. Согласно Зидентопфу [173], рассеяние (среднеквадратическое отклонение) σ для средней плотности $\bar{D}$ равно

$$\sigma = 0,7 \frac{d}{Q} \sqrt{\bar{D}} \quad \text{для } Q \gg d, \quad (1)$$

где d — средний диаметр зерен; Q — диаметр измеряемого участка почернения.

Фризер [41] отчетливо различаемую разность плотностей определяет соотношением

$$\Delta \bar{D} \geq 5\sigma. \quad (2)$$

Синусоидальное распределение интенсивности для малых плотностей D , расположенных на линейном участке характеристической кривой с градиентом γ , выражается уравнением

$$\Delta D = \Delta D_0 M(R) = \Delta \lg(I_0) \gamma M(R),$$

где $M(R)$ — ФПМ; ΔD_0 — разность плотностей без учета эффектов рассеяния; ΔD — разность плотностей почернения с учетом рассеяния в слое; $\Delta(\lg I_0)$ — разность логарифмов наложенных интенсивностей.

Из уравнений (1) и (2) получаем выражение для хорошей различаемости

$$\Delta(\lg I_0) \gamma M(R) \geq 0,7 \frac{d}{Q} \sqrt{\bar{D}}.$$

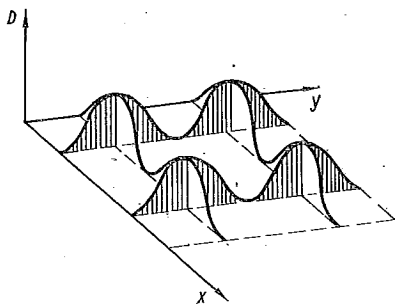
Принимая величину Q равной половине постоянной решетки g , $Q = g/2 = 1/2R$, получаем

$$\Delta(\lg I_0) M(R) / R \geq 1,4d \cdot \bar{D} / \gamma.$$

Это уравнение является граничным, когда при выбранном выше параметре Q контраст и пространственную частоту отчетливо воспроизводимого раstra еще можно сопоставлять с размером зерен, градацией и средней плотностью. В тех случаях, когда необходима хорошая различаемость деталей, следует правильно выбирать значения пространственной частоты и контраста; они не являются незави-

симыми друг от друга, поэтому нельзя разбивать их на любое число ступеней.

При фотографическом способе регистрации информации необходимо также сделать выбор между относительно крупными деталями (низкие пространственные частоты) с многими ступенями контраста и относительно мелкими деталями с меньшим числом ступеней контраста.



Ф и г. 17. Схематическое представление информационной емкости фотографических слоев.

При уменьшении размера детали Q в 2 раза число элементов изображения увеличивается в 4 раза. Однако среднеквадратическое отклонение σ увеличивается не больше чем в 2 раза [см. формулу (1)], так что число различаемых уровней яркости уменьшается только в 2 раза. Наиболее желательным является такой размер детали, при котором еще различаются два уровня яркости. Деталь такого размера g на пространственной частоте R представляет собой разрешающую способность фотослоя.

Если данная система различает только два уровня яркости, то ее можно отнести к системе, дающей сигнал «да — нет». Число таких сигналов, отнесенных к 1 см^2 (измеренное в бит/см²), определяет в этом простейшем случае информационную емкость фотоматериала. На фиг. 17 схематически представлена информационная емкость фотографического слоя для двух пересекающихся синусоидальных распределений плотностей. Элемент трехмерного распределения задан пространственной ча-

стотой разрешающей способности (линия/мм). Отсюда можно рассчитать информационную емкость (бит/см²) фотографического материала:

$$C \simeq (PC)^2 \cdot 10^3,$$

где РС — разрешающая способность фотографического слоя.

Фотографическая пластинка с разрешающей способностью 1000 линия/мм в идеальном случае может иметь информационную емкость $C \simeq 10^8$ бит/см². Фотоматериалы, обычно используемые в любительской фотографии, разрешающая способность которых лежит в пределах 100 линия/мм, также имеют очень высокую информационную емкость:

$$C \simeq 100^2 \cdot 10^3 = 10^6 \text{ бит/см}^2.$$

Однако в практике художественной фотографии полная информационная емкость фотографического слоя не реализуется, так как информация об изображении в противоположность приведенному выше примеру распределена в широком интервале пространственных частот. Кроме того, в различных областях применения фотографии набор распределения частот весьма обширен. Значительно более полным использованием информационной емкости по сравнению с художественной фотографией характеризуются такие методы, как фотография с несущей частотой, описанная Бестенрейнером и Демлем [11], и голография, описанная Габором, Строком, Лейтом и Упатниксом (см. работы [136, 175], которые будут здесь кратко рассмотрены).

В этих методах в противоположность изобразительной информации осуществлен переход от аналоговой формы регистрации информации к дискретно-цифровой регистрации.

В методе с несущей частотой изображение впечатывается в фотослой через расположенную на нем решетку; при этом оно имеет выраженную периодическую структуру. В зависимости от распределения пространственных яркостей изображения решетка выражена более или менее сильно. В этом случае решетка играет роль *несущей частоты*, на которой модулируются частоты изображения.

Выбор несущей частоты определяет *полосу пропускания* фотослоя. Ограничение полосы пропускания с помощью этой съёмочной техники позволяет налагать несколько снимков на один и тот же фотографический слой. Такое наложение возможно, если для каждого снимка используются решетки с разными постоянными или одна решетка поворачивается на разные углы.

При воспроизведении проявленное изображение освещается параллельным пучком света, так что на решетке происходит дифракция несущей частоты. Первые порядки дифракции каждого снимка содержат информацию об изображении и могут быть раздельно воспроизведены соответствующим диафрагмированием.

В голографии записывается интерференционное изображение объекта (голограмма), возникающее при интерференции луча сравнения с лучом света от объекта (голография с несущей частотой). Необходимым условием для этого является освещение когерентным светом (лучом лазера).

Несущая частота и полоса пропускания определяются длиной волны использованного когерентного света и углом между объективным лучом и лучом сравнения (опорным лучом). Если объективный луч не несет информации об объекте, то вместо интерференционной картины получается решетка с постоянной, равной несущей частоте. При наличии регистрируемого объекта происходит квазимодуляция информации об объекте на несущей частоте в интерференционном изображении.

Как и в фотографии с несущей частотой, в голографии можно наложить ряд снимков на одну и ту же поверхность фотослоя, используя различные длины волн действующего излучения или поворачивая фотослой на определенный угол. Восстановление объекта из записанной интерференционной картины проводится просвечиванием голограммы когерентным пучком света.

Преимуществом фотографии с несущей частотой является простота эксперимента, поскольку нет необходимости в применении когерентного света. Поскольку для практических работ имеются в распоряжении лишь решетки с несколькими сотнями линий на 1 мм, достигаемая разрешающая способность резко ограничена. Напротив, в

голографии могут быть достигнуты очень высокие пространственные частоты; их регистрация ограничена только разрешающей способностью применяемого для съемки фотографического материала.

2.5. Проблемы при извлечении информации из фотографического негатива и ее переработке

В практической фотографии, используемой в научных и технических целях, постоянно встречается ряд основных проблем, связанных с дешифрированием единственного практически невозпроизводимого негатива. Например, очень часто необходимо извлечь информацию, находящуюся в пороговой части характеристической кривой или в области недодержек из-за недостаточной экспозиции негатива вследствие ошибки при съемке или специфических условий регистрации изображения. Дешифрирование порогового участка представляет определенный интерес и в том случае, когда интервал яркостей объекта столь велик, что важная часть информации находится как в начале характеристической кривой фотослоя, так и в области передержек. Использование традиционных усилителей позволяет преобразовывать чувствительность в пороговой области кривой, однако при этом чрезмерно усиливаются (иногда неравномерно) почернения в области передержек. Пути решения этой проблемы описаны в гл. 3.

Большой интервал интенсивностей объекта и, следовательно, большой интервал плотностей негатива, часто достигающий трех десятичных порядков ($\lg D = 3$), очень сильно затрудняют его печать на фотографической бумаге, имеющей значительно меньшую фотографическую широту ($\lg D = 1,5$). В таких случаях следует стремиться к уменьшению контраста характеристической кривой без потери степени различения деталей изображения. Пути решения этой проблемы описаны в гл. 4.

Воздействие различных ФПМ в объединенном оптико-фотографическом канале передачи ведет к тому, что в изображении контраст высоких пространственных частот ослабляется в большей степени, чем контраст низких про-

Задача Область применения	Выделение области недодержек без увеличения оптической плотности	Улучшение копировочных свойств негатива без потери деталей
Любительская фотография	Хромогенное усиление, разд. 3.1. Усиление синим тонированием, разд. 3.2. Усиление в рассеянном свете, разд. 3.3	Голокопия, разд. 4.2
Аэрофотосъемка		
Дешифрирование аэрофотоснимков	Хромогенное усиление, разд. 3.1	Голокопия (с пере-держкой), разд. 4.2
Астрономия	Усиление синим тонированием, разд. 3.2. Усиление в рассеянном свете разд. 3.2	Голокопия, разд. 4.2
Спектроскопия		
Световая и электронная микроскопия	Хромогенное усиление, разд. 3.1	

Выделение почернений без потери сущности изображения	Двумерная фотометрия с высокой точностью измерений	Выравнивание контраста с выделением мелких деталей	Приемы художественной фотографии
		Сине-желтое тонирование, разд. 5.1.3	Выделение оптических плотностей цветом, разд. 6.5. Псевдопластика, разд. 5.1.4. Эквиденситы, разд. 6.2. Изогелия, разд. 6.5. ФД, разд. 5.2
Фотометрия крупных деталей, разд. 6.4			
Фотометрия крупных деталей, разд. 6.4. Выделение оптических плотностей цветом, разд. 6.1	Эквиденситы, разд. 6.2	Сине-желтое тонирование, разд. 5.1.3. ФД, разд. 5.2	
Фотометрия крупных деталей, разд. 6.4		ФД, разд. 5.2	Стереоеквиденситы, разд. 6.2.4. Цветные эквиденситы, разд. 6.2.4
	Эквиденситы, разд. 6.2. Измерение оптической плотности по высоте рельефа, разд. 6.3		
Выделение оптических плотностей цветом, разд. 6.1		ФД, разд. 5.2	Псевдопластика, разд. 5.1.4

Область применения	Задача	Выделение области недодержек без увеличения оптической плотности	Улучшение копировочных свойств негатива без потери деталей
Дозиметрия			
Автордиография			
Рентгеновская фотография (диагностика)			
Рентгеновская фотография (уменьшение дозы)	Усиление синим тоном, разд. 3.2. Хромогенное усиление, разд. 3.1		
Репрография	Усиление в рассеянном свете, разд. 3.3	Голокопия, разд. 4.2	
Реклама			
Криминалистика			

Выделение почернений без потери сущности изображения	Двумерная фотометрия с высокой точностью измерений	Выравнивание контраста с выделением мелких деталей	Приемы художественной фотографии
Фотометрия крупных деталей, разд. 6.4	Эквиденситы, разд. 6.2	ФД, разд. 5.2	
Выделение оптических плотностей цветом, разд. 6.1		Сине-желтое тонирование, разд. 5.1.3. ФД, разд. 5.2	
Выделение оптических плотностей цветом разд. 6.1		Сине-желтое тонирование, разд. 5.1.3. ФД, разд. 5.2	Эквиденситы, разд. 6.2. Изогелия, разд. 6.5. ФД, разд. 5.2. Псевдопластика, разд. 5.1.4. Выделение оптических плотностей цветом, разд. 6.1
	Эквиденситы, разд. 6.2		

странственных частот. Вводя в передаточный канал при последующей обработке фотослоя еще одну составляющую с определенной ФПМ, которая повышает передачу контраста в мелких деталях при одновременном выравнивании его в крупных деталях (см., например, фиг. 16), можно добиться улучшения качества передачи объекта фотографическим слоем. Способы регулирования величин контраста описаны в гл. 5.

Как следует из данных, приведенных в разд. 2.4, фотографический слой как накопитель информации обладает значительной информационной емкостью. Наиболее простой и экономичной формой двумерного дешифрирования является рассмотрение фотограмм несколькими наблюдателями. Однако этот метод дает лишь качественную оценку свойств изображения. Для количественных определений, прежде всего для количественной фотометрии, предложены другие методы, предполагающие определенное предварительное разделение информационного содержания фотограммы. Методы выделения почернения одинаковой оптической плотности — хромогенное дифференцирование и метод эквиденсит — рассматриваются в гл. 6.

Метод хромогенного дифференцирования основан на трансформации изображения таким образом, что черно-белая фотограмма переводится в условное цветное изображение. Представление фотограммы в виде эквиденситограммы называется трансформацией в эквиденситы. Оба вида трансформации изображения существенно облегчают его дешифрирование.

Эти методы можно с успехом использовать в художественной и рекламной фотографии. Соответствующие примеры приведены в гл. 7.

В таблице перечислены области применения описанных путей извлечения информации из фотографических негативов.

3.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Усиление как средство повышения чувствительности уже давно применяется на практике. К сожалению, вряд ли может быть увеличена плотность «порога» характеристической кривой (А на фиг. 4). Возможно лишь более или менее значительное увеличение плотностей линейного участка характеристической кривой. Этот способ вполне пригоден для повышения информационного содержания недодержанных (получивших недостаточную экспозицию) негативов. На нормально экспонированных и проявленных негативах хорошо усиливаются лишь «вялые места», а участки изображения, получившие большую экспозицию, настолько уплотняются, что копирование становится практически невозможным.

В литературе описано большое количество способов усиления изображения, но на практике используются лишь очень немногие из них. Наиболее известны ртутный и урановый усилители (см., например, работу Ангерера и Юса [3, стр. 147 и сл.]).

Менее известны и реже используются для повышения светочувствительности хромогенное усиление с повторным проявлением и вирирование в синий цвет, хотя эти методы обладают определенными преимуществами по сравнению с упомянутыми выше «классическими» усилителями. Хромогенное усиление и железное тонирование в синий цвет можно проводить на свету. Разумеется, при этом не следует забывать, что при увеличении плотности почернения в случае применения усиливающих растворов будет увеличиваться зернистость негативного изображения (Фольке и Грубба [185]).

3.1. Хромогенное усиление

Под хромогенным усилением понимают окрашивающее повторное проявление черно-белых снимков для повышения чувствительности и контраста (Канкельвитц, Круг и Лау [78]). Необходимым условием проведения этого процесса является предварительное превращение серебра изображения в способный к проявлению галогенид серебра путем регалогенирования. Обработка проводится следующим образом.

В отбеливающем (окисляющем) растворе, содержащем ферроцианид калия и галогенид (хлористый натрий или бромистый калий), серебро изображения окисляется в хлористое или бромистое серебро. После регалогенирования (отбелики) и тщательной промывки проводится вторичное хромогенное проявление в окрашивающем проявителе (черно-белый проявитель с цветной компонентой). При восстановлении галогенида серебра в серебро изображения (проявление) одновременно происходит окисление проявителя. Затем в тех местах, где образовалось серебро изображения, идет реакция между цветной компонентой и продуктами окисления компонентов проявителя с образованием красителя — азометина или индофенола. Особенно активно краситель образуется на отдельно лежащих зернах серебра. Благодаря этому на тех участках негатива, которые находятся ниже «порога» характеристической кривой и кажутся совершенно прозрачными, начинается образование красителя.

Краситель, отлагающийся вокруг зерен проявленного серебра, изменяет распределение спектрального пропускания фотослоя. Суммарное почернение состоит из двух составляющих: поглощения света первоначально образовавшимися (в результате проявления) зернами серебра и фильтрового действия красителя. В результате окрашивания негатива действительно происходит повышение чувствительности, так как почернение становится видимым и его можно измерить. В отличие от других методов усиления (например, ртутно-серебряного усиления) этот метод повышения чувствительности назван оптическим усилением (Муттер [151]).

Особым преимуществом хромогенного метода по сравнению с классическими усилителями является очень незначительное увеличение зернистости изображения.

Как было указано выше, при хромогенном проявлении также образуется серебро изображения, которое может быть подвергнуто отбелике и проявлению. В результате опять образуются серебро и краситель, который отлагается в тех же местах, где уже образовался краситель после первого проявления, что способствует дальнейшему повышению плотности и градации негатива.

Особенности механизма этого метода усиления позволяют применять его для различных целей. Даже при однократном усилении достигается повышение чувствительности в 2—2,5 раза. Повторное хромогенное проявление в том же цвете позволяет повышать чувствительность более чем в 3 раза. Многократность применения метода хромогенного повторного проявления для усиления изображения ограничивается рядом факторов, в том числе оптической плотностью вуали. Обычно можно проводить не более трех таких операций.

Второй метод усиления в другой цвет, например в дополнительный, наряду с увеличением чувствительности позволяет повышать контраст изображения. Если же в особых случаях необходимо повысить чувствительность без увеличения контраста изображения, то следует удалить серебро, образующееся после усиления, используя регалогенирование и фиксирование. При этом получается определенный выигрыш в количестве информации за счет малого поглощения красителя в местах высоких плотностей. Принцип хромогенного усиления, основанный на описанных выше различных вариантах усиления, оказывается весьма полезным как при последующем копировании, так и при визуальном дешифрировании негатива.

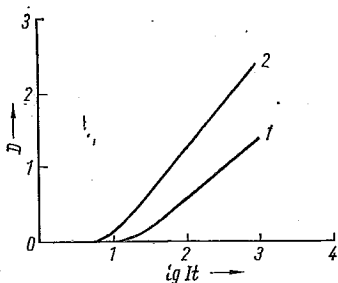
Наконец, при копировании хромогенно усиленных негативов для улучшения градационных характеристик можно использовать оптическую сенсibilизацию копируемого материала и цветные фильтры. Поскольку обычные позитивные фотоматериалы, применяемые для копирования, чувствительны только к синей части спектра (область собственной чувствительности галогенида

серебра), хромогенное усиление в дополнительный (к синему) желтый цвет ведет к повышению контраста при печати белым светом. При окраске негатива красителями с более длинноволновой границей поглощения наблюдается дальнейшее усиление этого эффекта.

С другой стороны, повышения контраста можно также добиться введением в процесс печати светофильтра, окрашенного в дополнительный цвет (например, синее хромогенное проявление, желтый светофильтр). Если же при печати используется светофильтр, имеющий тот же цвет, что и окрашенный при хромогенном проявлении негатив, то наблюдается противоположный эффект — уменьшение контраста позитивного изображения.

Используя характерные особенности этого процесса, соответствующим подбором светофильтров можно регулировать градационные характеристики копии.

При визуальном дешифрировании хромогенно усиленного негатива (например, при рассмотрении рентгеновских снимков) можно столь



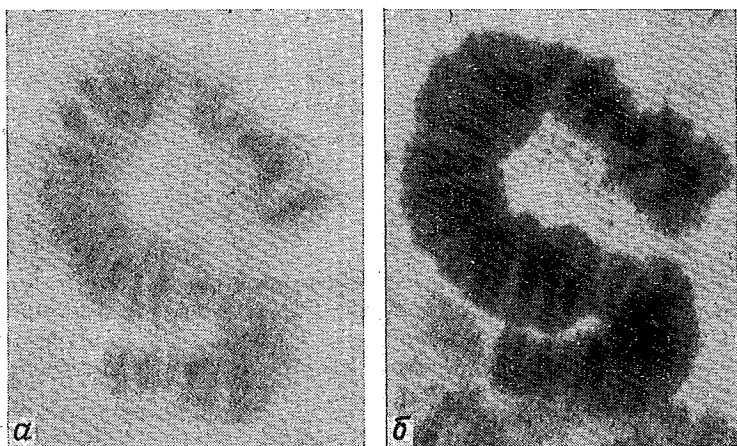
Фиг. 18. Хромогенное усиление

в желтый цвет.

1 — обычное проявление; 2 — трехкратное усиление (измерение с синим светофильтром).

же успешно использовать цветные светофильтры. Целесообразно также при дешифрировании недодержанных участков изображения для увеличения контраста изображения использовать дополнительные (по цвету) светофильтры. При использовании светофильтра того же цвета, что и окрашенный негатив, на участках изображения, образованного только красителем, будет наблюдаться уменьшение контраста, а на участках, получивших недостаточную экспозицию, — лучшая различаемость деталей. Ниже приводится ряд примеров, иллюстрирующих возможности этого метода усиления изображения.

На фиг. 18 показано, как трехкратное усиление изображения в желтый цвет повышает плотность 0,03 (кривая 1), находящуюся в области недодержек характерис-



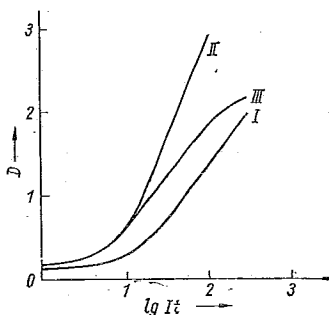
Фиг. 19. Хромогенное усиление.

a — недодержанная микрофотография хромосомы; *б* — тот же снимок после хромогенного усиления.

тической кривой, до цветной плотности 0,3 (кривая 2). Плотности измерялись с синим светофильтром.

На фиг. 19 показано изменение хромогенного усиления для улучшения качества недодержанной при экспонировании микрофотографии гигантской хромосомы (Лау и Шальге [120]). На фиг. 19, *a* представлено изображение оригинального негатива, получившего при экспонировании экспозицию, в 4 раза меньшую, чем необходимо, а на фиг. 19, *б* — эта же копия после двукратного усиления в желтый цвет.

На фиг. 20 показаны возможности регулирования градационных характеристик фотографического мате-



Фиг. 20. Изменение градационных характеристик фотослоя при хромогенном усилении.

I — оригинальный черно-белый негатив; *II* — однократное хромогенное усиление (в желтый цвет); *III* — хромогенное усиление после удаления серебра изображения.

риала хромогенным усилением. Кривая *I* — характеристическая кривая фотослоя при обычном черно-белом проявлении. После однократного хромогенного усиления (желтый цвет) характеристическая кривая фотослоя (кривая *II*) имеет другую форму, так как измеряемые оптические плотности состоят из серебра изображения и красителя. Контраст изображения увеличивается, чувствительность возрастает примерно в 2,5 раза. Если же металлическое серебро удаляется из изображения после хромогенного усиления (сначала проводится его отбелка, а затем фиксирование), то характеристическая кривая фотослоя принимает форму *III*, поскольку плотности изображения образованы только красителем. Сопоставление кривых *I—III* показывает следующее:

а) увеличение плотностей начального участка характеристической кривой достигается за счет дополнительной плотности, образуемой красителем;

б) повышения чувствительности без изменения градиционных свойств можно достичь, удаляя серебро из слоя и измеряя почернение через синий фильтр.

3.1.1. Составление растворов

Раствор для бромирования

Феррицианид калия (красная кровяная соль) ($K_3 [Fe (CN)_6]$)	250 г
Бромистый калий (KBr)	12 г
Сульфат натрия (Na_2SO_4)	50 г
Вода	1000 мл

Цветной проявитель

Раствор А

Сульфат диэтилпарафенилендиамина ($(C_2H_5)_2NC_6H_4NH_2 \cdot H_2SO_4$)	1,1 г
Вода	100 мл

Раствор Б

Сульфат натрия, безводный (Na_2SO_4)	1,0 г
Бромистый калий (KBr) ¹	1,0 г
Карбонат калия, безводный (K_2CO_3)	50 г

Водосмягчающее средство	2,0 г
Вода	900 мл

*Цветные компоненты***Желтый проявитель**

Раствор 0,75 г бензоилацетанилида ($C_6H_5COCH_2CONHC_6H_5$) в 20 мл диоксана.

Пурпурный проявитель

Раствор 0,90 г 1-фенил-3-метил-5-пиразолона в 40 мл этилового спирта.

Синий проявитель

Раствор 0,75 г α -нафтола в 10 мл диоксана.

Растворы А и Б сливают непосредственно перед использованием, затем вводят выбранную цветную компоненту в указанном выше количестве.

Фиксационная ванна

Тиосульфат натрия ($Na_2S_2O_3$)	200 г
Дисульфит калия ($K_2S_2O_5$) . .	15 г
Вода до объема	1000 мл

3.1.2. Методика проведения процесса

Проведение хромогенного усиления требует чистоты в работе и тщательного соблюдения рецептуры.

Исходный материал должен быть хорошо проявлен. При этом не следует увеличивать время проявления сверх рекомендуемого, так как вуаль, возникающая при проявлении, усиливается особенно интенсивно. После обычного фиксирования и последующей промывки еще влажный фотоматериал может быть на свету подвергнут последующей обработке.

При обработке в лабораторных условиях (кюветное или бачковое проявление, покачивание кюветы рукой) длительность операции следующая:

Отбелка	1—3 мин
Промывка	5 мин
Цветное проявление (20°C) . .	5—10 мин
Окончательная промывка . . .	10 мин

Весь процесс может быть повторен, если степень усиления изображения после однократного усиления окажется недостаточной.

Серебро, образующееся повторно в процессе цветного проявления, способствует некоторому увеличению контраста. Поэтому при слабом контрасте негатива серебро удалять не следует.

Напротив, если негатив получается слишком плотным и контрастным, металлическое серебро необходимо удалять из слоя, проводя сначала его отбелку, а затем фиксирование. В этом случае необходимо выполнять следующие операции:

Отбелка	1—3 мин
Промывка	5 мин
Цветное проявление (20°C) . .	5—10 мин
Промывка	5 мин
Отбелка	1—3 мин
Промывка	5 мин
Фиксирование	2 мин
Окончательная промывка . . .	5—10 мин

Для фиксирования следует использовать нейтральные или слабокислые фиксажи, поскольку красители, особенно синий, в кислой среде неустойчивы. При длительной промывке между отдельными операциями следует соблюдать осторожность, не допуская образования цветной вуали или пятен. Нужно работать в резиновых перчатках или пользоваться пинцетом, чтобы на изображении не появлялись пятна и не пачкались руки.

3.1.3. Возможности применения

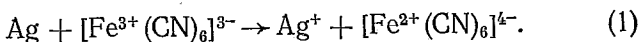
Хромогенное усиление можно проводить на любых черно-белых фотоматериалах, однако этот метод наиболее пригоден для малоформатных негативов и аэрофотоснимков.

Этот процесс можно использовать также и при визуальном дешифрировании рентгеновских снимков, доста-

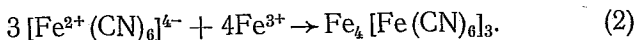
точно сильно снижая при этом дозу облучения. В этих случаях даже на недодержанном слое получается вся необходимая информация (Бёк, Рихтер, Канкельвитц и Круг [15]; Бёк и Теш [14]).

3.2. Усиление солями железа

Процесс усиления изображения солями железа заключается в переводе серебра изображения в комплексное соединение железа — ферриферроцианид (берлинская лазурь (Круг [5]). Серебро изображения отбеливается феррицианидом калия в присутствии эквивалентного количества соли трехвалентного железа (чаще всего используются железоаммонийные квасцы):



Поскольку образующаяся соль железистосинеродистой кислоты имеет меньшую растворимость, чем соли серебра, и ионы трехвалентного железа находятся в растворе в избытке, в тех местах, где находилось серебро, они захватывают анионы и образуют «берлинскую лазурь»:



Наряду с берлинской лазурью в обработанном слое остается также серебро в виде труднорастворимого сульфата серебра беловатого цвета. При добавлении в тонирующий раствор небольшого количества азотной кислоты происходит растворение сульфата серебра и удаление его из слоя. Характерной особенностью этого метода усиления является то, что отбеливание [уравнение реакции (1)] происходит равномерно во всем интервале почернений негатива, а процесс окрашивания в синий тон [реакция (2)] — только на поверхности отбеленных зерен серебра. Поэтому недодержанные или слабо экспонированные участки изображения полностью переводятся в краситель, тогда как в более плотных местах негатива краситель образуется только на поверхности, а в глубине еще остается отбеленное серебро. Его можно оставить в изображении или для улучшения пропускания отфиксировать (см. разд. 5.1.3).

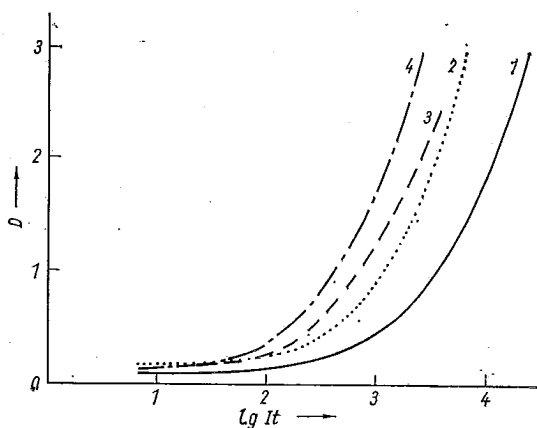
Степень усиления и градационные характеристики изображения можно определенным образом изменять, вводя в тонирующий раствор различные кислоты. На фиг. 21 приведены характеристические кривые одного и того же материала (спектральные пластинки), обработанного железным усилителем в присутствии различных кислот. После усиления изображения клина фиксирования не проводилось; почернения измерялись без каких-либо светофильтров. Как следует из фиг. 21, наибольшее повышение чувствительности наблюдается при усилении солями железа в присутствии соляной кислоты; одновременно увеличивается контраст. При введении в тонирующий раствор серной кислоты наблюдается аналогичное увеличение контраста при меньшем повышении чувствительности. При введении органической (щавелевой) кислоты контраст не изменяется, тогда как чувствительность повышается несколько больше, чем с серной кислотой.

Степень усиления зависит прежде всего от свойств фотографического материала. В то время как на спектральных пластинках чувствительность удается повысить в 2—3 раза, на астрономических пластинках и рентгеновских пленках можно добиться четырехкратного увеличения чувствительности. Так, например, при рентгеновской диагностике можно уменьшить дозу на 70—75% (Бёк и Теш [14]).

Усиление солями железа является весьма чувствительной реакцией, благодаря чему становятся видимыми даже следы мельчайших частиц серебра. В связи с этим нужно очень осторожно выбирать длительность черно-белого проявления, поскольку вуаль проявления усиливается весьма интенсивно. В равной степени это относится и к возможности увеличения зернистости на фотоматериалах, еще до усиления имеющих крупное зерно, например на рентгеновских пленках. Увеличение зернистости в участках изображения небольшой толщины со слабым контрастом (например, мягкие ткани) ухудшает различаемость деталей. Наоборот, при рассмотрении снимков с сильным контрастом деталей (например, кости и мягкие ткани или при использовании контрастирующих средств) увеличением зернистости можно пренебречь.

Увеличение зернистости на мелкозернистых пленках практически не ухудшает различия деталей.

Особенно большое преимущество усиления солями железа заключается в том, что синий цвет является прозрачным даже при очень больших плотностях изображения, поэтому информационное содержание снимка при копировании передается практически полностью. Можно добиться еще большего улучшения качества передачи,



Фиг. 21. Изменение степени усиления изображения солями железа при использовании различных кислот (без фиксирования).

1 — характеристическая кривая фотослоя до обработки; 2, 3 и 4 — усиление солями железа в присутствии серной, щавелевой и соляной кислоты соответственно.

если опустить окрашенный в синий цвет негатив на короткое время в желтую тонирующую ванну. В этом случае светлые места негатива при копировании белым светом становятся более плотными. Время сушки окрашенного негатива из-за сильного дубящего действия тонирующего раствора должно быть очень коротким. Поэтому длительность процесса усиления может быть лишь немногим более 5 мин.

Если необходимо несколько ослабить интенсивность синего цвета изображения, следует удалить остаток серебра, используя желтый фиксирующий раствор (см.

разд. 5.1.3.1). При этом получается изображение «бриллиантового» синего цвета, а степень усиления несколько уменьшается.

3.2.1. Приготовление растворов

Три основных раствора и желтая тонирующая ванна приготавливаются по приведенной ниже рецептуре. Каждый раствор может храниться длительное время.

Синий тонирующий раствор

Основной раствор I можно приготовить в четырех вариантах в зависимости от требуемой степени усиления.

Основной раствор Ia (для максимального усиления)

Вода	1000 мл
Соляная кислота, конц. (HCl)	20 мл

Основной раствор Ib (для оптимального усиления)

Вода	1000 мл
Соляная кислота, конц. (HCl)	10 мл
Азотная кислота, конц. (HNO ₃)	10 мл

Основной раствор Ic (для среднего усиления)

Вода	1000 мл
Серная кислота, конц. (H ₂ SO ₄)	30 мл

Основной раствор Ig (для усиления без увеличения коэффициента контрастности)

Вода	1000 мл
Лимонная кислота [(CH ₂ COOH) ₂ ·COHCOOH·H ₂ O]	9 г
Щавелевая кислота [(COOH) ₂ ·2H ₂ O]	9 г

Основной раствор II

Феррицианид калия (красная кровяная соль, K ₃ [Fe(CN) ₆])	14 г
Бихромат калия (K ₂ Cr ₂ O ₇)	0,2 г
Вода до объема	1000 мл

Основной раствор III

Железоаммонийные квасцы [(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂]	40 г
Вода до объема	1000 мл

Желтый тонирующий раствор

Вода	1000 мл
Желтый краситель (тартрацин или хризоин S)	2 г

3.2.2. Практические указания

1. Составить основные растворы по указанным рецептурам.
2. Черно-белый негатив, предназначенный для усиления, опустить на несколько минут в воду для набухания эмульсионного слоя.
3. Приготовить тонирующий раствор:
 - 1 часть основного раствора I (Ia, Ib, Ic или Ig),
 - 1 часть основного раствора II,
 - 1 часть основного раствора III.

Тонирующий раствор для достижения желаемого эффекта может быть разбавлен водой в соотношении 1:1 или 1:2.

4. Набухший в воде черно-белый негатив опускается на 5 мин в синий тонирующий раствор. Во время тонирования раствор должен непрерывно перемешиваться.

5. Окрашенный негатив промыть в течение 30 с в воде.

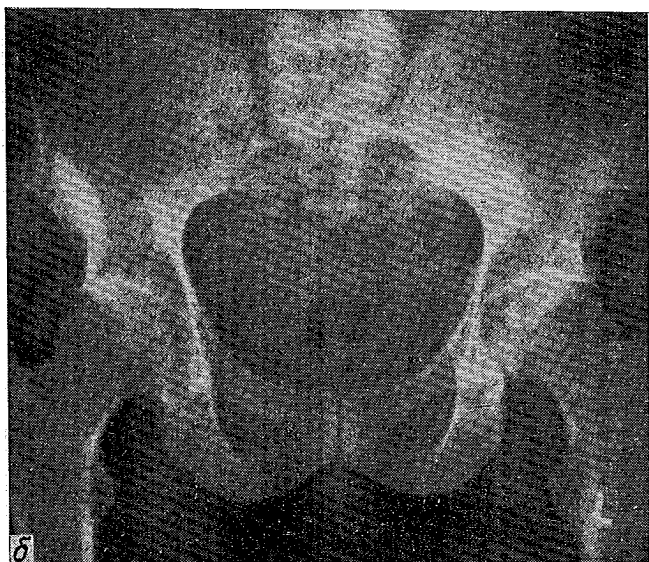
6. Промытый негатив опустить на 2—3 мин в желтый тонирующий раствор и затем высушить.

7. Если окрашивание в желтом растворе оказалось слишком интенсивным, негатив следует промыть водой до желаемой интенсивности желтого цвета.

3.2.3. Возможности применения

Усиление солями железа следует использовать в тех же случаях, что и хромогенное усиление (см. разд. 3.1.3). Особенно пригоден этот процесс для фотографов-любителей: простота осуществления и низкая стоимость при высокой эффективности говорят сами за себя. Усиление солями железа целесообразно также использовать в практике рентгеновской диагностики. Этот метод усиления позволяет уменьшить необходимую в обычных условиях дозу рентгеновского облучения, особенно в тех случаях, когда рентгенографирование приходится проводить несколько раз, или из-за объективных причин, позволяющих давать лишь короткие времена облучения.

На фиг. 22 демонстрируется возможность усиления рентгеновского снимка описанным выше методом.



Ф и г. 22. Усиление солями железа рентгеновского снимка.
а — оригинальный негатив; *б* — тот же негатив после усиления.

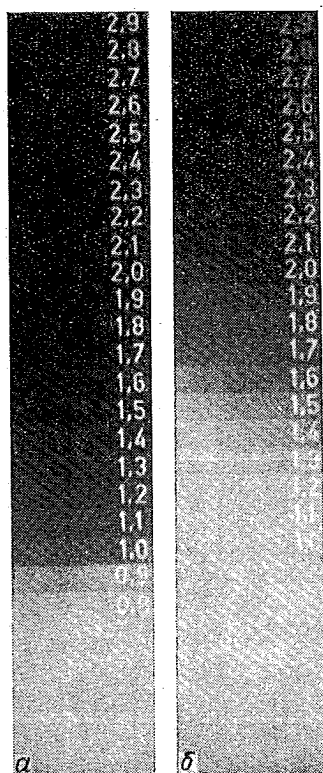
3.3. Методы с использованием рассеянного света

Совершенно иной метод усиления с использованием рассеянного света (по сравнению с описанными в разд. 3.1 и 3.2) был предложен Киндом и Лау [84]. В этом случае не происходит пропорционального усиления существующих почернений — используются главным образом слабые и слабейшие почернения.

Основная причина плохой передачи контраста в малых почернениях заключается в том, что для дешифрирования фотопластинки применяется проходящий свет, т. е. в процессе копирования используется ослабление света, проходящего через фотослой. Концентрация проявленных зерен в пороговой области и в области недодержек характеристической кривой явно недостаточна для воспроизведения модуляций интенсивности при печати. Если же вместо пропускания использовать почернение негатива в качестве рассеивающей среды, этот недостаток полностью исчезает. Каждый, кто занимался практической фотографией, часто замечал, что если рассматривать слабо экспонированный негатив перед темным экраном при освещении его с обратной стороны, то видно хорошее позитивное изображение. В этом случае для воспроизведения информационного содержания негатива используется свет, рассеянный в слое.

В противоположность малоэффективному экранирующему действию зерен при просвечивании здесь каждое отдельное зерно является источником света, рассматриваемым на темном фоне. Достигнутое таким путем улучшение передачи контраста аналогично усилению. Этот эффект рассеяния света в слое можно значительно усилить, уменьшая поглощение света в металлическом серебре изображения. Для этого металлическое серебро необходимо перевести в соединение, сильно рассеивающее свет.

Наиболее целесообразно использовать с этой целью отбеливание. С этой точки зрения каждый слабый негатив представляет собой контрастный позитив с равномерной передачей контраста в начальном нелинейном участ-



Ф и г. 23. Метод усиления с рассеянным светом.

a — обычный отпечаток серого клина; *b* — тот же клин, отпечатанный методом усиления с рассеянным светом.

ке характеристической кривой¹. На практике поступают следующим образом:

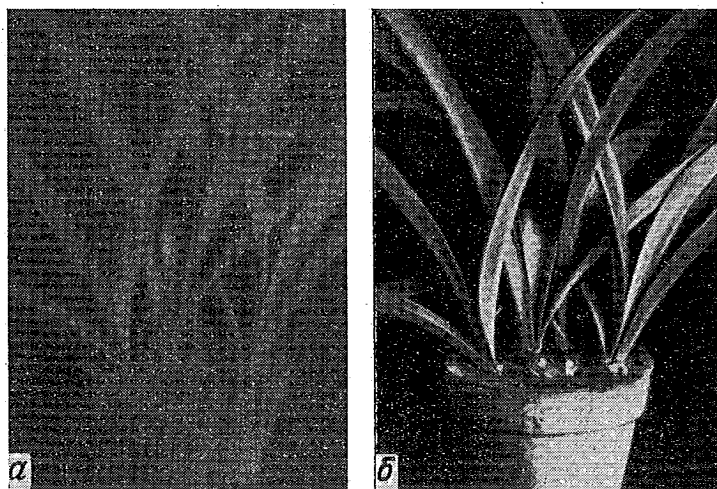
Негатив, получивший недостаточную экспозицию при съемке, ослабляют в растворе хлорида ртути HgCl_2 (яд!)

¹ Теория усиления слабых изображений детально разработана Букатиным [7*]. Он показал, что усиление изображения в темном поле наиболее эффективно при плотности менее 0,43, рассмотрел возможные источники помех и дал схему установки для фотографирования в темном поле. — Прим. ред.

и отбеливают. После промывки слой быстро высушивают струей теплого воздуха; при этом на поверхности образуется гладкое желатиновое покрытие. После этой операции пластинку, симметрично освещенную с двух сторон, помещают перед темным экраном и фотографируют видимый в рассеянном свете позитив. Таким образом получают улучшенный негатив, который может быть напечатан обычным способом.

В качестве примера на фиг. 23 приведены фотографии ступенчатого клина, причем копия *а* получена непосредственно с первоначального негатива, а копия *б* — с использованием описанного выше способа получения позитива в рассеянном свете. Здесь отчетливо наблюдается сдвиг области хорошего воспроизведения контраста примерно на семь ступеней в сторону меньших экспозиций.

На фиг. 24 приведен пример аналогичного использования метода с рассеянием света для целей художественной фотографии.



Фиг. 24. Усиление с рассеянным светом.

а — отпечаток с недодержанного снимка; *б* — тот же снимок, отпечатанный методом усиления с рассеянным светом.

Состав отбеливающего раствора

Хлорид ртути (HgCl_2)	20 г
Вода до объема	1000 мл

Следует помнить, что этот раствор ядовит, поэтому при работе с ним необходимо принимать известные меры предосторожности. Отбелка продолжается 3—5 мин, пока с обратной стороны слоя не исчезнет черное металлическое серебро. Высушивают струей теплого воздуха ¹.

¹ Для получения светорассеивающих диазонизображений рекомендуется следующий состав (Букатин [8*]):

Раствор 1

Сульфат меди (CuSO_4)	5—10 г
Уксусная кислота (ледяная, CH_3COOH)	28 мл
Вода	500 мл

Раствор 2

Иодистый калий (KI)	5—10 г
Аммиачная вода (25% NH_3)	40 мл
Вода	500 мл

Растворы 1 и 2 сливают и доводят аммиачной водой (при зеленой окраске раствора) или уксусной кислотой (при темно-синей окраске раствора) до светло-голубого цвета. Раствор можно хранить длительное время и использовать повторно до полной потери активности. Контроль отбелки ведется с обратной стороны (со стороны подложки). После полной отбелки изображение 5—10 мин промывают и высушивают. — *Прим. ред.*

4.

МЕТОДЫ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ШИРОКОГО ИНТЕРВАЛА ЯРКОСТЕЙ

Для накопления максимально возможного количества информации в большом интервале яркостей необходимо иметь фотослой с малым контрастом и большой фотографической ширитой, так как при высоком коэффициенте контрастности фотослоя теряется информация в больших плотностях (в области передержек — участок «плеча» характеристической кривой на фиг. 4). Часто возникает необходимость воспроизвести при копировании более широкий участок интервала почернений, чем это позволяет имеющийся фотографический материал. В этом случае применяют методы обработки имеющегося в наличии фотослоя, позволяющие значительно уменьшить его контраст. Еще чаще возникает необходимость снизить контраст уже имеющегося негатива, чтобы в процессе копирования можно было воспроизвести информацию, находящуюся в области насыщения характеристической кривой, без потери информации на начальном участке этой кривой. В этом случае необходимо изменить степень поглощения света отдельными участками изображения. Ниже описываются два метода, с помощью которых можно решить поставленную задачу.

4.1. Квазиодноярусный фотослой

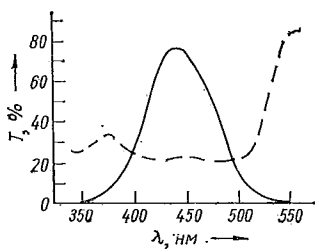
Один из известных методов воспроизведения большого интервала яркостей основан на окрашивании фотослоя имеющимися в продаже красителями.

Применение этого простого метода позволяет получить более пологую характеристическую кривую на обыч-

ном фотографическом материале при хорошей ее линейности и малой области недодержек (Кинд [83]).

Свет, падающий на фотослой, интенсивно поглощается окрашенной желатиной и поэтому не может пройти в глубину эмульсионного слоя. Вследствие этого экспонированными оказываются только микрокристаллы, расположенные на поверхности. Поскольку нижние ярусы микрокристаллов не будут экспонироваться из-за экранирующего действия окрашенной желатины, обычный фотоматериал становится *однослойным*. Особым преимуществом этого метода является то, что из-за поглощения света красителем полностью исключается образование ореолов отражения и улучшается передача мелких деталей.

Фотоматериалов с одним ярусом эмульсионных микрокристаллов в слое в продаже нет. Изготовить их можно сильным разбавлением фотографической эмульсии или



Фиг. 25. Кривые спектрального пропускания.

— комбинация светофильтров;
 --- смесь красителей.

поливом очень тонкого эмульсионного слоя. Изготовленный таким образом фотослой гораздо менее чувствителен, чем обычный эмульсионный слой с несколькими ярусами микрокристаллов, и, разумеется, имеет более низкий коэффициент контрастности. Кроме того, на таком слое очень заметны ореолы отражения.

На фотослоях с одним ярусом микрокристаллов наблюдается экспоненциальное уменьшение света в высоких

плотностях почернений. При экспонировании окрашенных слоев необходимо использовать комбинацию фильтров, например BG 12+GG 13+GG 15. Спектральное пропускание этой комбинации фильтров показано на фиг. 25. Для окрашивания желатины используется смесь двух красителей (оранжевого прочного и антраланового желтого) в соотношении 4 : 5. Коротковолновая граница пропускания (штриховая кривая) находится вблизи 500 нм. Вследствие малого перекрытия обеих кривых появляется воз-

возможность уменьшения контраста фотослоя. Соответствующим изменением концентрации смеси красителей можно изменять коэффициент контрастности в более широких пределах. Пороговая чувствительность фотоматериала остается практически неизменной.

4.1.1. Приготовление смесей красителей

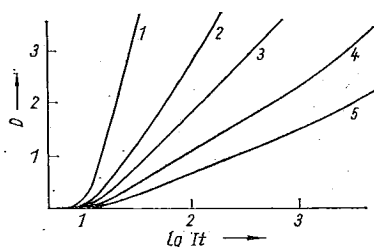
Фотоматериал ORWO FU 5 и Ilford N 60
 Проявитель Метолгидрохиноновый (например, ORWO MH-28),
 разбавленный водой в соотношении 1:2

Смесь красителей

Кривые	γ	Оранжевый прочный GX, %	Антралиновый желтый (супралиновый желтый), %
1	8	0	0
2	3	0,25	0,31
3	2	0,5	0,63
4	1	1,0	1,25
5	0,8	2,0	2,5

Комбинация фильтров Шоттовские фильтры BG 12 + GG 13 + GG 55

Результаты изменения контрастности, которых можно достичь, используя указанные смеси красителей различных концентраций на квазиоднорусных слоях, показаны на фиг. 26.



Фиг. 26. Изменение градационных характеристик на квазиоднорусных слоях.

4.1.2. Рабочие указания

Для обработки используются неэкспонированные обеспыленные пластинки, которые предварительно помещаются в воду для набухания эмульсионного слоя. Используются водные растворы красителей выбранной концентрации (см. приведенную выше таблицу) в соотношении 4 : 5. Пластины купают в растворе смеси красителей 3—5 мин, затем высушивают¹.

4.1.3. Области применения

Большой интервал экспозиций позволяет точно воспроизводить интенсивности; благодаря строгой линейности характеристической кривой фотопластины можно применять для точных измерений. Специфической областью применения таких фотослоев является эквиденситометрия (Лау и Круг [127]), в которой с помощью этого способа обработки можно получить широкие, хорошо выраженные эквиденситы (см. разд. 6.2), что особенно важно в случае эквиденсит высших порядков.

4.2. Голокопия

При обычном дешифрировании фотографических негативов (процессы в проходящем свете) для копирования используются лишь относительно прозрачные участки равномерно экспонированной поверхности фотослоя. На этих участках из-за статистических колебаний плотности

¹ Вместо прокрашивания эмульсионного слоя можно производить проявление проявителем, сильно снижающим контраст и тем самым увеличивающим фотографическую широту. Такой прием особенно эффективен, если, помимо выравнивающего действия, проявитель обладает отчетливо выраженным эффектом смежных мест (эффектом Эбергарда), улучшающим передачу мелких деталей.

Типичный проявитель такого типа имеет следующий состав: метола 0,4 г, сульфита безводного 10 г, тринатрийфосфата кристаллического 8 г, бромистого калия 0,02 г, хлористого натрия 1,6 г, воды 1000 мл. Перед употреблением этот состав разбавляется 1 : 5, 1 : 10. Продолжительность проявления 12—24 мин. Такие проявители позволяют увеличить светочувствительность, фотографическую широту и передачу мелких деталей (Истомин и Шеберстов [23*], Истомин и Абидина [22*]). — *Прим. ред.*

образуется небольшое количество зерен серебра. Темные участки поверхности при копировании практически не используются, хотя на них находится значительно больше, чем в светлых участках, зерен серебра и, следовательно, основное количество информации. Пропускание почернения определяется не только количеством зерен серебра, которые содержат определенное количество информации, но и числом «дырок», возникающих вследствие статистических колебаний концентрации проявленных зерен.

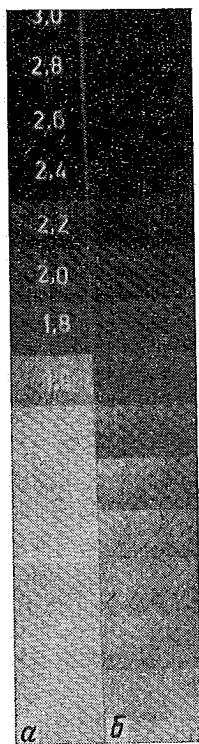
В связи с этим в методах голокопии, описанных в ряде работ Лау [109, 110] и Вайде [187], используются предварительно отбеленные негативы; при этом становятся прозрачными большие плотности почернений, несмотря на избыточное количество проявленных зерен. Предварительная подготовка негативов аналогична процедуре, применяемой в методе с использованием рассеянного света (разд. 3.3). Однако в данном случае обработанная фотопластинка используется непосредственно в качестве негатива. В процессе копирования в результате отбеливания больших плотностей может быть извлечена также информация из участка насыщения характеристической кривой.

В противоположность обычному процессу черно-белого копирования в методе голокопии не используется непосредственный эффект экранирования зернами проявленного серебра. Поскольку каждое проявленное зерно имеет небольшую степень поглощения, в процессе копирования участвуют все зерна, расположенные на различной глубине, и каждое из них вносит свой определенный вклад в построение изображения. При этом контраст между «дырками» и участками с повышенной концентрацией проявленных зерен уменьшается, что приводит к меньшей зернистости негатива. Контраст отбеленного негатива сильно уменьшается, тогда как передача деталей объекта даже улучшается.

На фиг. 27 показана копия ступенчатого клина на диапозитивных пластинках, отпечатанная контактным методом. На проявленной обычным методом копии клина можно различить лишь шесть ступеней; напротив, на негативе, полученном методом голокопии, различаются один-

надцать ступеней, так как в процессе воспроизведения участвуют практически все зерна.

Вайде в результате изучения кривых распределения зерен по размерам получил интересные данные [122, 188].



Фиг. 27.

Голокопия.

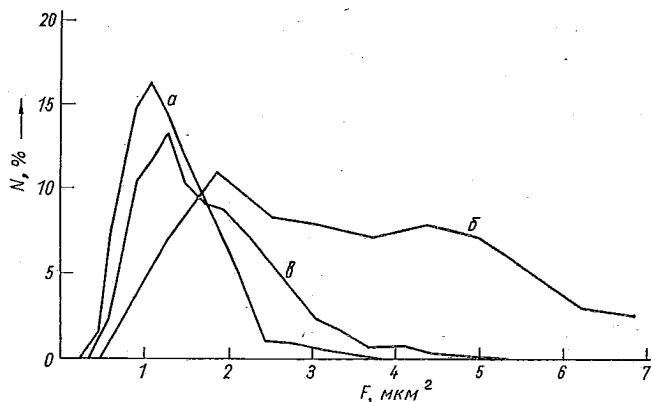
a — обычная копия;
б — печать с отбеленного негатива.

На фиг. 28 приведены кривые распределения по размерам непроявленных микрокристаллов эмульсионного слоя (кривая *a*), зерен серебра, проявленных обычным методом (кривая *б*), и негатива, полученного методом голокопии (кривая *в*). Как следует из фиг. 28, проявленные зерна после отбели фотослоя по размеру лишь немного больше непроявленных микрокристаллов эмульсии, тогда как зерна серебра, проявленные обычным методом, имеют значительно больший размер.

На фиг. 29 приведены электронно-микроскопические снимки микрокристаллов рентгеновской эмульсии, наглядно показывающие влияние различных видов обработки на форму и размер проявленных зерен. Сопоставление микрофотографий угольных реплик непроявленных микрокристаллов (фиг. 29, *a*) и зерен галогенида серебра, восстановленных методом отбели (фиг. 29, *в*), показывает, что частицы имеют близкие размеры. Отбеленные зерна (фиг. 29, *в*) значительно компактнее, чем зерна после первого проявления (фиг. 29, *б* и *г*). При рассмотрении проявленного изображения даже в обычном световом микроскопе хорошо видно, что проявленные зерна после отбели значительно уменьшаются.

В качестве наглядного примера успешного применения метода голокопии на фиг. 30, *a* приведены сильно увеличенные фотографии Полярной звезды. После голокопирования (фиг. 30, *б*), помимо увеличения воспроизводимого интервала плотностей, наблю-

дается также уменьшение зернистости и спектра шумов. Следует отметить, что только на негативе, полученном методом голокопии, могут быть обнаружены спутники Полярной звезды, расположенные непосредственно вблизи нее.

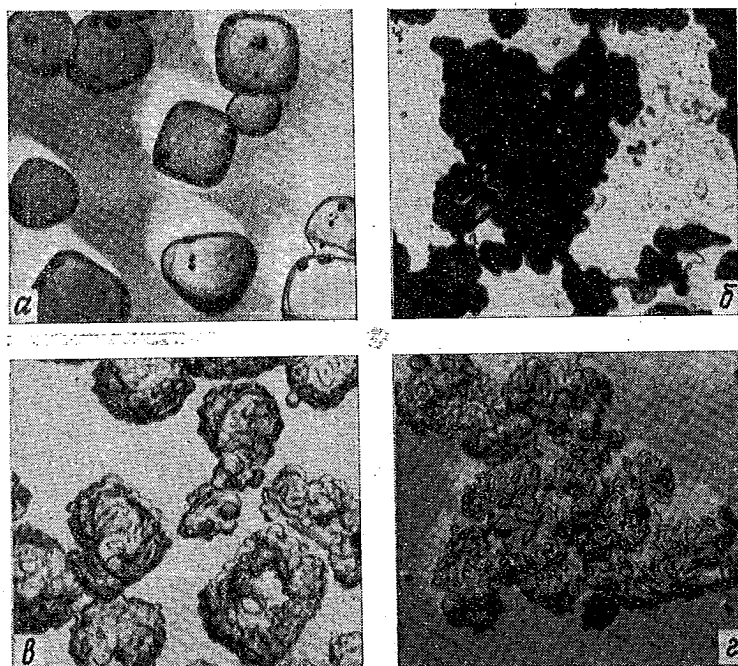


Ф и г. 28. Кривые распределения частиц по размерам (число зерен N , имеющих определенную площадь проекции F , мкм^2).
 а — неэкспонированный фотослой; б — проявленный фотослой; в — отбеленный фотослой.

Уменьшение спектра шумов происходит по той причине, что даже при сравнительно небольших интенсивностях объекта съемки значительное число микрокристаллов приобретает способность к проявлению. Поэтому при сканировании изображения узкой измерительной щелью шум этих зерен может оказаться существенным. Как установлено Лау [110], отбеленное изображение дает на 30% более точное определение наложенной на фотослой экспозиции, чем обычный негатив. При печати негативов после голокопии лучше всего пользоваться увеличителем. Осветительная система и объектив увеличителя дают параллельный пучок света, убирая рассеянный свет, благодаря чему все проявленные зерна участвуют в процессе образования почернения на позитивном материале. При контактной печати вряд ли можно ожидать хороших

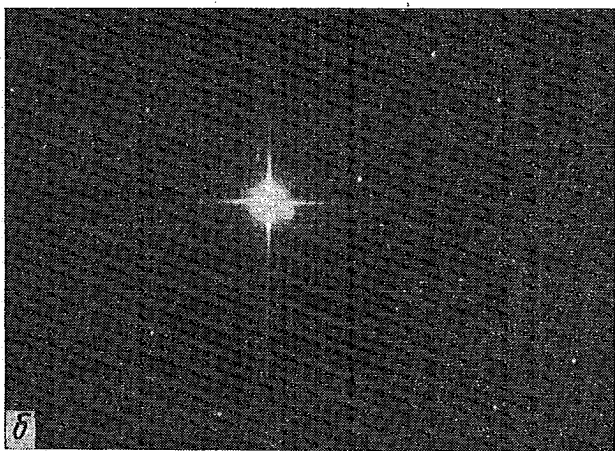
результатов, так как весь рассеянный свет действует на позитив.

Вводя дополнительные элементы в осветительную систему или делая последующую засветку (после основной



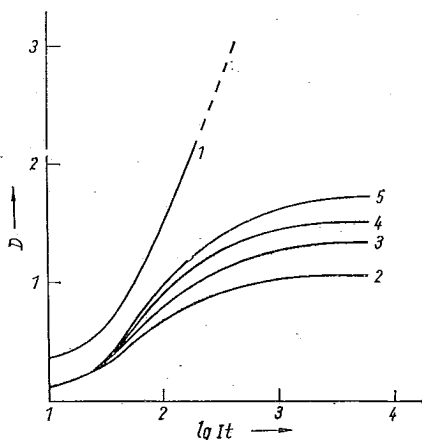
Ф и г. 29. Электронно-микроскопические снимки (Röntgen-Sino-Film). *а* — непроявленные микрокристаллы (угольная реплика); *б* — проявленные зерна (прямой снимок); *в* — отбеленные зерна (угольная реплика); *г* — проявленные зерна (угольная реплика).

экспозиции), можно менять градационные характеристики негатива в широком интервале. Особенно низкий контраст можно получить, если наложить на негатив матовое стекло. Возможности этого метода показаны на фиг. 31. Кривая 1 — характеристическая кривая нормально проявленного негатива; штриховая часть этой кривой не относится к процессу копирования. Кривая 2 — характери-



Ф и г. 30. Полярная звезда (снимок получен в обсерватории Шварцшильда, Таутенбург).
a — нормальное изображение (сильно увеличено); *б* — голокопия.

стическая кривая фотослоя после отбели. Отчетливо видно, что наклон кривой уменьшается, кривая становится более пологой; это способствует воспроизведению на позитиве большого интервала экспозиций. Контраст такого изображения можно увеличить, если отбеленный негатив



Ф и г. 31. Изменение контраста при голокопии.

1 — оригинальный негатив; 2 — отбеленный негатив; 3, 4, 5 — отбеленные негативы с последующей засветкой.

еще раз проявить и перевести прозрачные для света микрокристаллы хлористого серебра в металлическое серебро или часть этих зерен в металлическое серебро последующей засветкой определенной интенсивности¹. При этом пропускание уменьшается и величина γ возрастает. Характеристические кривые 3—5 относятся к негативам с различной длительностью последующей засветки ртутной

¹ При большой интенсивности света (прежде всего ультрафиолетового излучения) слой темнеет медленно, так как происходит рекомбинация выделяющегося при фотолизе галоида с металлическим серебром с образованием AgHal .

лампой: 30 мин, 1 ч и 2 ч соответственно. При засветке зернистость изображения практически не увеличивается. Разумеется, последующую засветку можно проводить также солнечным или обычным дневным светом.

Засвеченные таким образом отбеленные негативы вполне пригодны и для контактной печати.

В случае необходимости плотность почернения можно еще больше увеличить, проводя после засветки процессы повторного проявления и отбелики. При этом начальный участок характеристической кривой воспроизводится так же хорошо, как и в оригинальном негативе. Таким образом, с помощью описанных выше приемов можно добиться того, что информация, заключенная в больших плотностях почернений негатива, будет воспроизводиться в процессе копирования. При этом одновременно снижается до необходимого уровня коэффициент контрастности. Поэтому метод обработки негатива, позволяющий извлечь всю имеющуюся в негативе информацию, получил название голокопии (от греческого *holos* — полный, весь).

4.2.1. Рецепттура

<i>Проявитель</i>	Метолгидрохинон (ORWO МН-28), разбавленный водой в соотношении 1: 5
<i>Длительность проявления</i>	4—5 мин
<i>Фиксирование</i>	Обычное
<i>Промывка</i>	Обычная

После проявления еще влажный слой переносится для хлорирования (отбелики) в раствор ORWO 710 следующего состава:

Вода	800 мл
Сульфат меди, крист. (CuSO_4)	100 г
Хлористый натрий (NaCl)	100 г
Серная кислота, конц. (H_2SO_4)	25 мл
Вода до объема	1000 мл

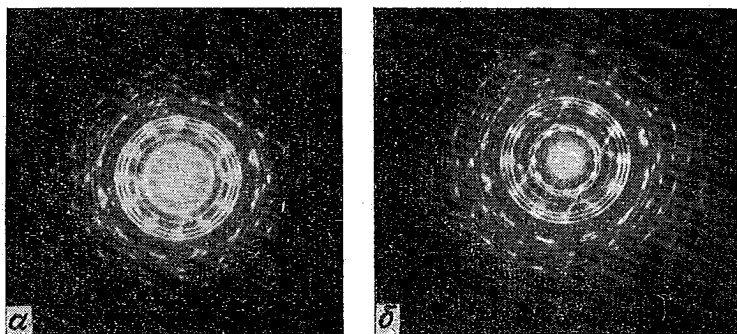
Длительность отбеливания составляет 4—10 мин; после этого со стороны основы не будет видно металлического серебра черного цвета.

4.2.2. Рабочие указания

Для голокопии следует использовать нормально экспонированные и хорошо проявленные негативы. Старые или пересохшие негативы сначала нужно размочить в воде, чтобы избежать образования пятен при отбеливании. Если же пятна появятся, снова проводят проявление и затем отбеливание. После отбеливания негатив промывают в течение 3 мин, затем сушат. Если негатив после отбеливания имеет недостаточный контраст, для достижения необходимого контраста проводят интенсивную последующую засветку. Отбеленный негатив можно еще раз проявить (второе проявление) и промыть без фиксирования, получая при этом оригинальный негатив.

4.2.3. Области применения

Метод голокопии можно применять для очень широкого круга задач, связанных с наиболее полным извлечением информации из негатива. Здесь будут приведены лишь



Фиг. 32. Электронно-микроскопический снимок интерференционных колец.

a — обычный снимок; *b* — снимок, полученный методом голокопии.

два примера: на фиг. 32 показано применение этого метода в физических исследованиях, на фиг. 33 — в любительской фотографии.

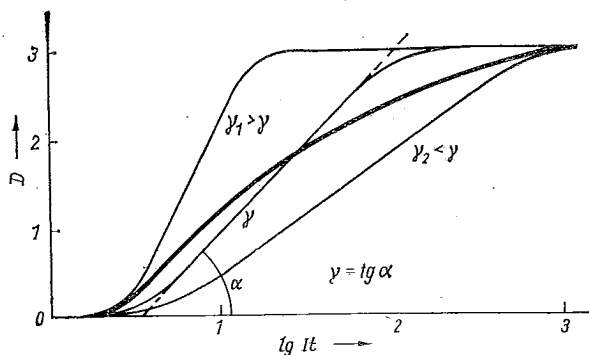


Ф и г. 33. Любительский снимок (малоформатная камера); объект съемки с большим интервалом яркостей.

5.

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНТРАСТА

Проблема наиболее полного извлечения информации из негативного изображения в процессе печати определяется свойствами фотографического эмульсионного слоя, его характеристической кривой (фиг. 34).



Фиг. 34. Изменение интервала значений контраста.
Жирной линией выделена характеристическая кривая с переменным коэффициентом контрастности γ .

Форма характеристической кривой с переменным коэффициентом контрастности γ свидетельствует о том, что для воспроизведения накопленной информации, т. е. для копирования, пригодна лишь определенная ее часть — линейный участок и расположенные в непосредственной близости к нему участки кривой. Поскольку информация об объекте распределена по всей характеристической кривой, та часть информации, которая на-

ходится в пороговой части и в области передержек кривой, теряется в процессе воспроизведения. Это обусловлено тем, что все процессы преобразования (копирования) основаны на принципе прохождения света через фотослой. В тех случаях, когда свет слабо или, наоборот, полностью проходит через фотослой, очень трудно изменить яркость. Однако измерения до некоторой степени можно облегчить, если использовать в позитивном процессе слой с контрастом $\gamma_1 > \gamma$. В этом случае информация лучше извлекается из порогового участка характеристической кривой при одновременной потере части информации, зарегистрированной в больших плотностях.

Когда стремятся полнее воспроизвести информацию, записанную в больших плотностях, получается противоположный результат. В этом варианте выбирают значения $\gamma_2 < \gamma$, обычно теряя детали в пороговой части характеристической кривой. Фотоматериалы для печати необходимо выбирать исходя из этих предпосылок. Следует отметить, что на практике применяются и многие другие методы (Кёльнер [85]), позволяющие изменить наклон характеристической кривой. Имея определенный опыт печатания снимков, для воспроизведения на позитивном материале теряемой обычно части информации в больших плотностях можно экранировать свет, проходящий через светлые участки негатива. К сожалению, это не всегда возможно.

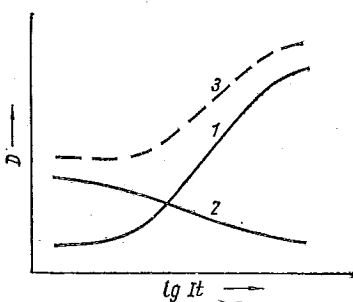
Цель полного извлечения информации заключается в равном ее извлечении из начального участка и области передержек характеристической кривой. Поэтому должны быть разработаны такие методы печати, чтобы на светлые участки негатива попадало меньше света, а на темные — больше, чем на участки, имеющие средние плотности. Этого можно добиться, изменяя форму характеристической кривой таким образом, чтобы она имела больший наклон в своем начале и меньший — в области передержек (жирная кривая на фиг. 34). При этом происходит выравнивание общего контраста, тогда как контраст в деталях увеличивается в малых плотностях и уменьшается в больших.

Для многих задач независимо от общего изменения контраста желательно изменить величину γ для опреде-

ленной области пространственных частот (размера деталей изображения). Это очень важно при дешифрировании аэрофотоснимков, когда должны быть получены резкие контуры и хорошая детализуемость объекта, в то время как низкие пространственные частоты, например тени облаков, не представляют никакого интереса или даже могут служить помехами при дешифрировании. В связи с этим регулирование величины контраста следует вести таким образом, чтобы прежде всего добиваться подъема высоких и ослабления низких пространственных частот. Поскольку эти требования встречаются в большинстве задач дешифрирования, все методы регулирования контраста должны быть в этом смысле эффективны. До последнего времени достичь такого эффекта можно было или сложным и длительным по времени маскированием, или дорогостоящим электронным преобразованием.

5.1. Методы маскирования

Под маской обычно имеют в виду фотографический слой, который используется в позитивном процессе вместе с негативом для получения определенного эффекта. Чаще



Фиг. 35. Выравнивание контраста маскированием.

всего маски изготавливают с использованием оригинального негатива, а также из резкого или нерезкого, контрастного или вялого позитива, либо из так называемых цветных масок (Берендт [10], Нахтигаль и Дорион [152], Фризер [42]).

Выравнивающее по контрасту действие маски показывают приведенные на фиг. 35 характеристические кривые. Сочетание негатива (кривая 1) и «вялого» позитива (кривая 2) за счет измененного пропускания позволяет получить более плотную и менее контрастную копию (кривая 3).

Степень выравнивания контраста, выражаемая в процентах, определяется уравнением

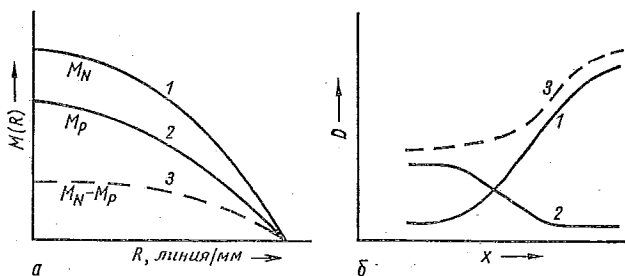
$$N = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} \cdot 100,$$

где γ — исходный коэффициент контраста; γ' — измененный коэффициент контраста.

Степень выравнивания контраста зависит также от контрастности маски, а степень улучшения различения деталей зависит от резкости маски. От степени резкости маски зависят как пространственные частоты максимального усиления контраста, так и граничные частоты при выравнивании и усилении контраста.

5.1.1. Резкая маска

В качестве маски (кривая 2 на фиг. 35) используется резкая копия негатива на прозрачной подложке, имеющая меньший контраст ($\gamma_2 < \gamma_1$), чем оригинальный негатив. Маска должна быть точно совмещена с негативом, однако полностью выполнить это условие на практике не удастся. И негатив и маска участвуют в образовании печатного оригинала. При прохождении света происходит сложение плотностей обеих составляющих; при



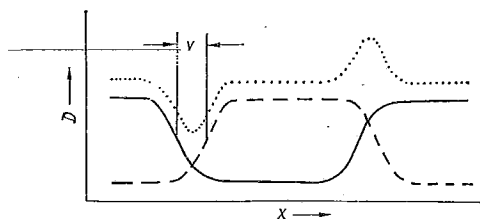
Фиг. 36. Резкая маска.

а — функции передачи модуляции негатива (M_N) и позитива (M_P); б — кривые почернений.

этом наблюдаются некоторое выравнивание линейного участка общей характеристической кривой и соответствующее улучшение воспроизведения как в начале кривой, так и в области передержек.

Полученное соотношение хорошо описывается функцией передачи модуляции. На фиг. 36, а приведена функция передачи модуляции резкой маски. Интервал яркостей в маске (кривая 2) меньше, чем в оригинале (кривая 1), соответственно коэффициентам контраста $\gamma_2 < \gamma_1$. Резкость обеих составляющих одинакова, т. е. они передают равные числа линий на 1 мм. Результирующая кривая 3 получена как разность $M_N - M_P$; отчетливо видно, что контраст на низких частотах значительно уменьшен по сравнению с оригиналом.

Из фиг. 36, б следует, что общий интервал яркостей стал меньше, однако контраст в деталях в значительной степени сохранился. Можно также легко видеть, что содержание снимка исчезает, если $\gamma_1 = \gamma_2 < 1$; в этом случае образуется однородное серое поле. Если же $\gamma_2 > 1$, образуются эквиденситы (см. разд. 6.2).



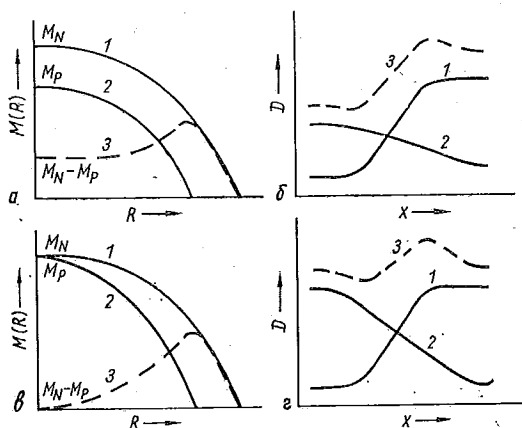
Фиг. 37. Барельефное изображение.

При смещении одной из составляющих (позитива или маски) относительно другой на расстояние v образуется так называемое *барельефное псевдопластическое изображение*, схематически показанное на фиг. 37. Такая картина создается потому, что возникают два черно-белых края одной линии, причем оптическая плотность одной увеличивается, а второй уменьшается.

5.1.2. Нерезкая маска

В этом случае под маской (кривая 2 на фиг. 35) понимают нерезкую копию негатива, изготовленную с прокладкой из прозрачной пленки или с помощью специального копировального материала (Чокли [22]).

В общем виде нерезкая маска должна иметь меньшую градацию яркостей, чем оригинал ($\gamma_2 < \gamma_1$). Функция передачи модуляции для этого случая приведена на фиг. 38, а. Можно видеть, что $M_N > M_P$, и в негативе передаются более высокие пространственные частоты, чем в позитиве. Результирующая кривая 3 ($M_N - M_P$) имеет максимум в области высоких пространственных частот. В этом случае контраст деталей выше общего контраста, что показано на фиг. 38, б.



Ф и г. 38. Нерезкая маска.

а — функции передачи модуляции с нерезкой маской ($\gamma_2 < \gamma_1$); б — кривые почернений для фиг. 38, а; в — функции передачи модуляции с нерезкой маской ($\gamma_2 = \gamma_1$); г — кривые почернений для фиг. 38, б.

Если нерезкая маска имеет такой же контраст, как и оригинал ($\gamma_2 = \gamma_1$), то образуется равномерное черное поле в соответствии с фиг. 35, так как общий контраст равен нулю. Рассмотрение функции передачи модуляции для этого случая (фиг. 38, в) показывает, что воспроизводятся только высокие частоты и остается лишь контраст в деталях; различаются также некоторые контуры (фиг. 38, г).

Как следует из обоих примеров, приведенных на фиг. 38, вполне возможно выравнивание общего контраста и контраста в деталях по мере необходимости. Однако в каждом случае требуется изготовление специаль-

ной маски, что довольно сложно и отнимает много времени.

Здесь следует указать, что имеется французский патент (Джурно [26]), в котором описывается способ изменения контраста в широких пределах с использованием только одной маски. В этом случае негатив и маска проявляются в дополнительные цвета, причем они должны быть перепроявлены. Пример подобного цветного перепроявления приведен в разд. 6.1.5. Обе копируемые составляющие отбеливают и затем проявляют (например, негатив в синий цвет, а позитивную маску — в желтый); при печати эти маски совмещают. Если использовать два источника света таких же цветов (желтого и синего) с регулируемой интенсивностью, то можно достичь непрерывного изменения контраста в копии. Желтый свет будет эффективен только для негатива, окрашенного в синий цвет, а синий — для желтой маски. Все промежуточные значения могут быть получены при использовании смешанного света.

5.1.3. Маскирование методом сине-желтого тонирования

Метод регулирования контраста с помощью двухцветных масок не вполне удовлетворителен из-за довольно большой трудоемкости. Аналогичный результат может быть получен более простым путем при введении маски в оригинальный негатив (Круг [93—95]). Вначале негатив окрашивают в синий цвет в синем тонирующем растворе (см. разд. 3.7), причем цветные плотности задубливают в различной степени. После этого негатив окрашивают в водном растворе желтого красителя, который диффундирует в слой на глубину, определяемую степенью задубленности слоя в этом месте. Если печать такого сине-желтого негатива производить на оптически несенсибилизированном материале, то можно достичь хорошего выравнивания контраста. Белый копируемый свет слабо поглощается местами изображения, окрашенными в синий цвет, и более интенсивно — желтыми участками изображения. Обе цветные маски вводятся в негатив путем обработки двумя простыми растворами. Степень выравнивания контраста можно легко регу-

лировать двумя методами: изменением концентрации исходных растворов и путем использования при печати синих или желтых светофильтров.

Эффективность второго метода показана на примере регулирования контраста ступенчатого клина (см. приложение). Серый ступенчатый клин (фото 1) сначала окрашивается в синий, а затем в желтый цвет. При этом образуется цветной клин с переходом окраски от светло-желтой через желто-зеленую и зеленую к светло-синей и темно-синей в соответствии с изменением почернения исходного серого клина. Если напечатать исходный клин на фотоматериале с таким же контрастом, то получается обращенный клин. Использовать при печати фотоматериалы разной контрастности можно лишь в одном определенном направлении клина, зависящем от качества фотоматериала (мягкий или контрастный). На фотографии отчетливо виден выигрыш в глубоких плотностях, так как синий тонирующий раствор переводит серебро в прозрачное для света соединение.

Наконец, сине-желтое изображение улучшает воспроизведение всех ступеней клина за счет взаимно противоположного фильтрующего действия обеих цветных компонент. Такая копия дает улучшение передачи объекта и в начальной и в верхней частях характеристической кривой с одновременным выравниванием интервала яркостей (см. фиг. 34, характеристическая кривая с изгибом линейного участка).

Степень выравнивания контраста N может быть изменена как на выровненном, так и на невыровненном по контрасту позитивном изображении. Опыты, проведенные на ряде измененных отпечатков, позволили установить, что величину N можно регулировать в пределах 85%.

Помимо выравнивания контраста (или изменения интервала яркостей), в этом методе достигается некоторый подъем высоких пространственных частот; согласно результатам измерений, резкость края увеличивается примерно на 33%. Ответственны за это, вероятно, два эффекта. За счет диффузии неизрасходованного синего раствора, в большом количестве диффундирующего на границе изображения деталей, возникает эффект смежных мест; одновременно возникает эффект смежных мест

в местах, подвергнутых дублению. Глубина проникновения желтого раствора зависит от дубления, вследствие чего возникшее желтое изображение действует как «вялая», нерезкая позитивная маска.

5.1.3.1. Приготовление растворов

Ниже приводится состав основных растворов, которые можно хранить в течение длительного времени. Рабочие растворы, приготовленные сливанием основных растворов, пригодны лишь в течение определенного времени (в зависимости от количества и расхода от 1 ч до 1 нед). Рекомендуется применять свежеприготовленные рабочие растворы.

Синий тонирующий раствор

Основной раствор I

Лимонная кислота $[(\text{CH}_2\text{COOH})_2\text{CONCOOH} \cdot \text{H}_2\text{O}]$. . .	9 г
Щавелевая кислота $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$	9 г
Вода до объема	1000 мл

Основной раствор II

Феррицианид калия (красная кровяная соль, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$)	14 г
Бихромат калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	0,2 г
Вода до объема	1000 мл

Основной раствор III

Железоаммонийные квасцы $[(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$	40 г
Вода до объема	1000 мл

Желтый фиксирующий раствор

Тиосульфат натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	25 г
Желтый краситель (например, тартрацин или хризоин S)	2 г
Вода до объема	1000 мл

5.1.3.2. Рабочие указания

1. Приготовить в соответствии с рецептурой основные растворы.

2. Оригинальный черно-белый негатив, подлежащий обработке, опустить на несколько минут в воду для набухания эмульсионного слоя.

3. Приготовить синий тонирующий раствор. Для этого слить равные количества основных растворов I, II и III и разбавить полученный смешанный раствор водой в соотношении 1 : 2.

4. Набухший негатив обработать в течение 5 мин синим тонирующим раствором, часто покачивая кювету, при температуре раствора около 19°C. При обработке в бачковом проявительном приборе целого аэрофильма время проявления следует соответствующим образом изменить.

5. Промыть синий негатив в течение 30 с.

6. Обработать синий негатив неразбавленным желтым фиксирующим раствором в течение 2—3 мин.

7. Окрашенный сине-желтый негатив опустить в кювету с водой, содержащей небольшое количество смачивающего вещества.

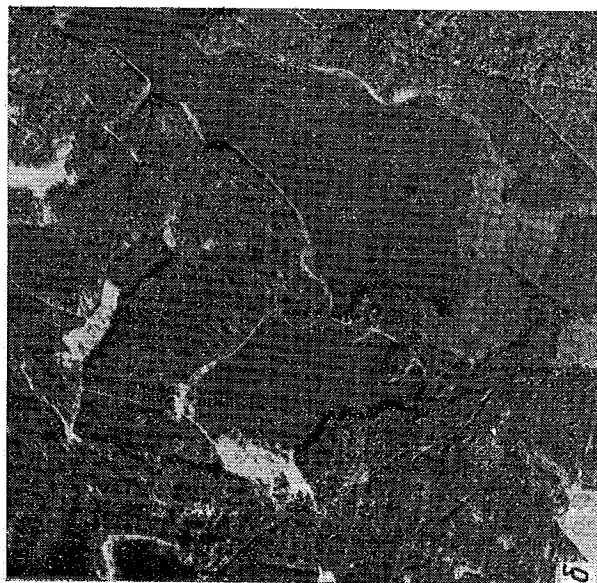
8. Негатив следует время от времени вынимать из кюветы и рассматривать перед светлой лампой. Если плотные места негатива имеют светящийся синий цвет, а слабые участки еще достаточно желтые, обработка прекращается.

9. Окрашенный негатив повесить для сушки.

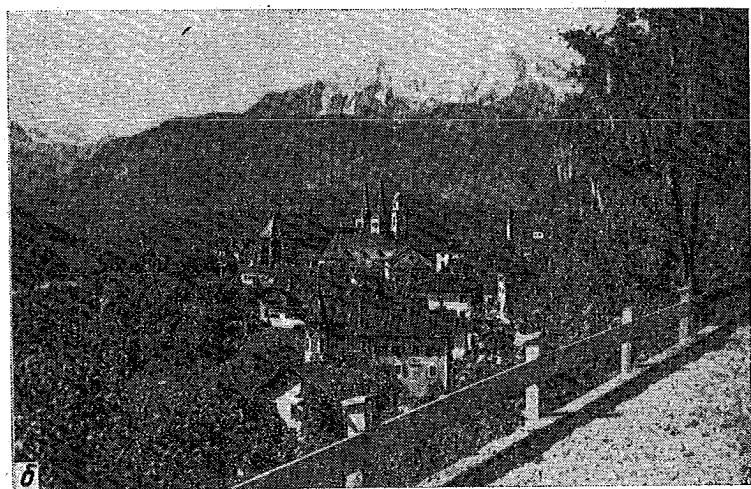
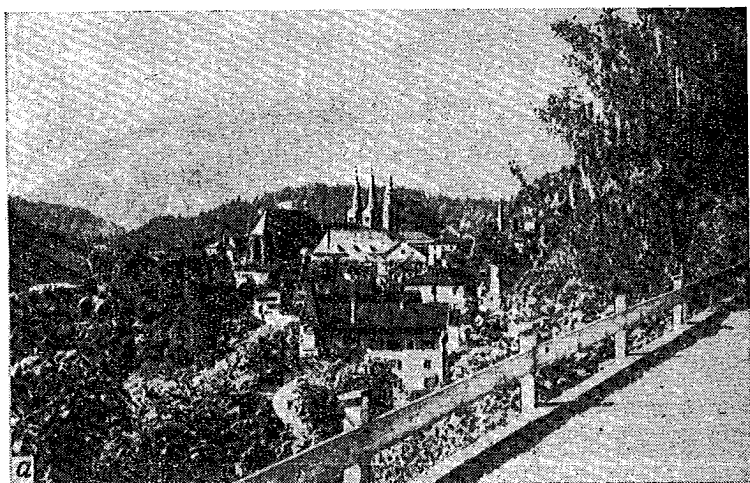
В случае если желтый краситель слишком сильно вымывается из слоя, можно провести повторную обработку в желтом тонирующем растворе (см. разд. 3.2.1), после чего негатив следует быстро высушить.

5.1.3.3. Применение

Сине-желтое тонирование из-за простоты и низкой стоимости можно весьма успешно использовать вместо метода нерезкой маски; прежде всего это относится к дешифрированию аэрофотоснимков. В этом направлении проведен ряд систематических исследований по определению пригодности метода для интерпретации снимков леса (Вольф [196, 197]). Было установлено, что благодаря выравниванию контраста и лучшей передаче деталей наблюдается заметное улучшение по сравнению с необработанным негативом. Это хорошо заметно на приведенных здесь снимках (фиг. 39, а и б). На фиг. 39, а (оригинальный негатив) из-за большого контраста на теневых



Ф и г. 39. Метод сине-желтого тонирования.
 а — обычная копия; б — копия с выровненным контрастом.



Ф и г. 40. Любительский снимок.

a — необработанный негатив; *б* — негатив с выровненным контрастом.

участках практически неразличимы мелкие детали, в то время как на фиг. 39, б, где контраст выровнен, снижен интервал яркостей, отлично различаются детали по всей площади снимка.

Метод сине-желтого тонирования можно с успехом применять также при дешифрировании микрофотографий и электронно-микроскопических снимков (Верес [181], Верес и Круг [182]). Этот метод вполне пригоден и для крупноформатных любительских снимков, если необходимо воспроизвести большой интервал яркостей (фиг. 40).

5.1.4. Аддитивно-флуорографический метод

При использовании классического метода нерезкой маски, как описано в разд. 5.1.2, при печатании необходимо как можно точнее совмещать ее с оригинальным негативом. Эта процедура занимает много времени, так как нерезкость маски затрудняет точное совмещение. Даже специальные метки не гарантируют надежного совмещения, обеспечивающего точную передачу резких контуров или деталей изображения.

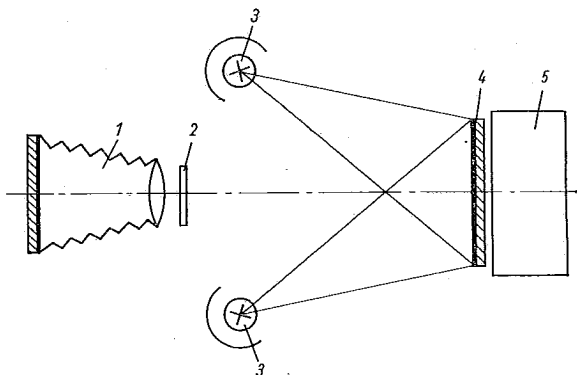
Эта трудность встречается во всех методах, где с самого начала отсутствует разделение оригинального негатива и маски. Аддитивно-флуорографический метод, предложенный Вайде, основан на разделении позитива и негатива. Позитивное и негативное изображения последовательно впечатываются в приемный фотоматериал, так что нет никакой необходимости перемещать оригинальный негатив. Особенностью этого метода является необходимость изменения условий освещения.

Аддитивно-флуорографический метод основан на превращении серебряного изображения в тиосалицилат серебра с помощью простого и быстрого способа купания в конце фотографического проявления (Букатин [19])¹. Разумеется, можно обрабатывать и ранее проявленные негативы. При облучении тиосалицилата серебра УФ-светом возникает интенсивная флуоресценция с максимумом в области 610—640 нм. При прямом просвечивании белым

¹ Обработанный таким образом негатив (Букатин [8*]) можно использовать для усиления в темном поле, как светорассеивающий и для флуорографического метода. — *Прим. ред.*

светом образуется поглощающий негатив, аналогичный негативу, получаемому методом голокопии.

Используя различное освещение негатива — просвечивающее (*поглощающий негатив*) или боковое УФ-облучение (*флуоресцентный позитив*), можно различным образом комбинировать негатив и позитив. Изображения

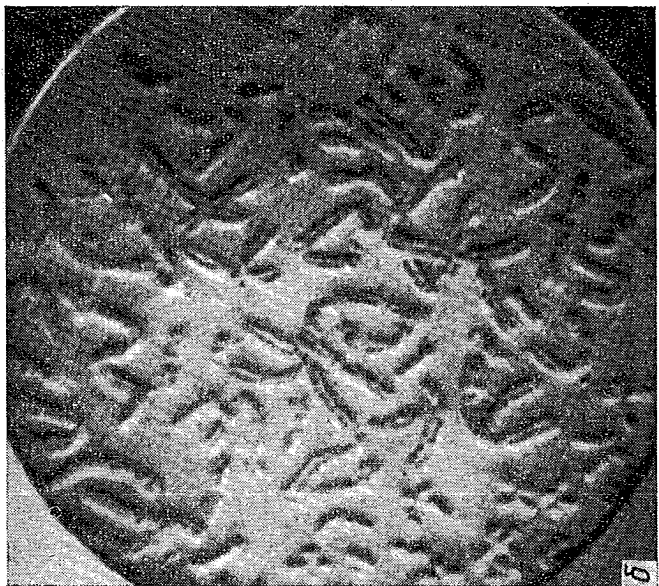
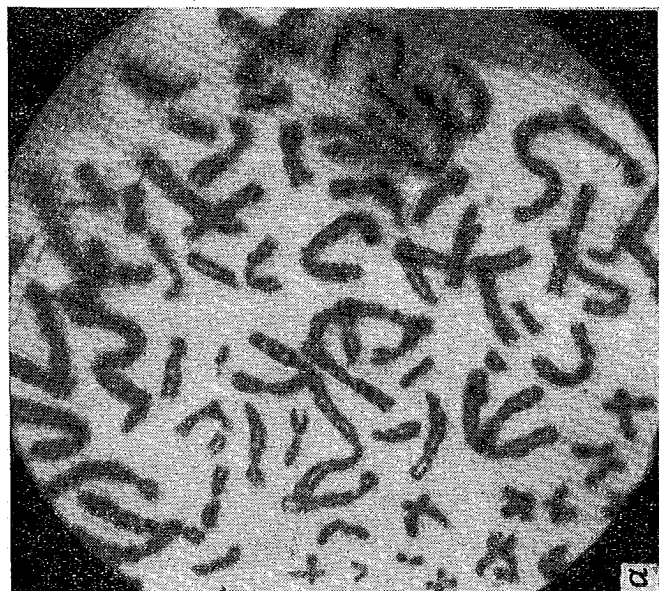


Ф и г. 41. Аддитивно-флуорографический метод.

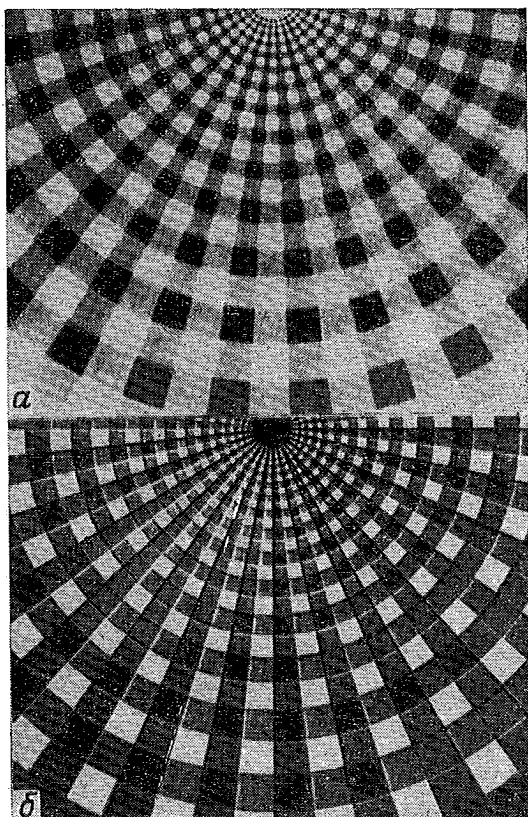
1 — камера; 2 — оранжевый светофильтр; 3 — источник УФ-света; 4 — негатив; 5 — источник света.

фотографируются одним фотоаппаратом. Изменяя относительное отверстие объектива камеры или используя предварительное диафрагмирование (дырчатая диафрагма, капроновый чулок и т. д.), можно в широких пределах регулировать резкость изображений без изменения масштаба.

Схема установки показана на фиг. 41. Оригинальный негатив помещается на матовом стекле копировального аппарата эмульсионной стороной к расположенной под прямым углом съемочной камере. По обе стороны камеры симметрично оптической оси системы располагаются два источника УФ-света. Перед объективом аппарата устанавливают оранжевый светофильтр, чтобы исключить попадание рассеянного УФ-света в камеру. Включая поочередно копировальный аппарат и источники УФ-света, на приемном фотослое можно получить независимо друг



Ф и г. 42. Микрофотография хромосом.
а — обычная микрофотография; б — барельефное изображение.



Ф и г. 43. Контрольная съемка.
а — обычный снимок; б — барельефное изображение.

от друга негативное и позитивное изображения с различными степенями резкости.

Разумеется, можно проводить съемку оригинального негатива с увеличением.

В принципе совершенно безразлично, какое изображение будет нерезким — негатив или позитив. Однако, учитывая то обстоятельство, что флуоресцентный негатив в определенной степени усиливает изображение, негатив

целесообразно оставлять резким, а позитив делать нерезким. В съемочной камере получается маскированный негатив, который может быть использован для контактной печати.

Аддитивно-флуорографический метод позволяет также получать эффект барельефного изображения в строго контролируемой форме. В этом случае и позитив и негатив должны быть резкими, но при смене источников освещения необходимо смещать оригинальный негатив на определенное расстояние (фиг. 42 и 43).

Согласно Лау, вместо флуоресцентно-тонирующего раствора возможно использовать также раствор, приготавливаемый для отбелики в методе голокопии (см. разд. 4.2.1), или усиление рассеянным светом (см. разд. 3.3). В этом случае позитив образуется при боковом освещении белым светом.

Составы растворов

1. Аддитивно-флуорографический метод

Негатив обрабатывают 3—4 мин отбеливающим раствором, затем стабилизируют 3—4 мин специальным раствором, после чего промывают в течение 2 мин.

Фильтр

OG 2 (Шотт).

Отбеливающий раствор

Феррицианид калия (красная кровяная соль, $K_3[Fe(CN)_6]$)	100 г
Хлористый натрий (NaCl)	20 г
Вода	1000 мл

Стабилизирующий раствор

Этиловый спирт 60%-ный	100 мл
Тиосалициловая кислота (HSC_6H_4COOH)	6 г

2. Упрощенный метод с использованием растворов, применяемых для голокопии, или при усилении рассеянным светом

Отбелика проводится.

Раствор, применяемый для голокопии

Вода	800 мл
Сульфат меди крист. ($CuSO_4$)	100 г
Хлористый натрий (NaCl)	100 г

Серная кислота конц. (H_2SO_4)	25 мл
Вода до объема	1000 мл

Отбеливающий раствор для способа усиления рассеянным светом (ядовит!)

Вода	1000 мл
Хлорная ртуть (HgCl_2)	20 мл

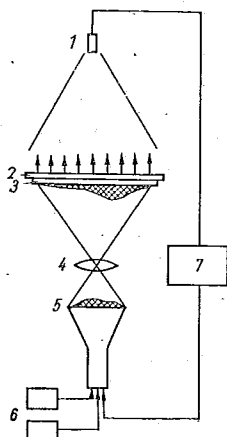
5.1.5. Другие методы регулирования контраста

Ниже будут рассмотрены два метода автоматического регулирования контраста, основанных на различных принципах. Копировальные установки с электронным регулированием контраста в широких пределах, например системы «Логетрон», «Элкоп» и др., имеют в качестве источника света трубку Брауна (фиг. 44) (Ломанн [141], Хемпениус [57], Херда и др. [59], Мёбиус [149]).

Свет, проходящий через негатив и применяемый для печати материал, попадает на вторичный электронный усилитель и используется для регулирования интенсивности электронного луча по принципу отрицательной обратной связи: при большей прозрачности экспозиция уменьшается, при меньшей — увеличивается. Поскольку экспонирование осуществляется методом движущейся строчной развертки световым пятном определенного диаметра и сканируется вся поверхность негатива, размер светового пятна непосредственно влияет на функцию передачи модуляции. Детали размером меньше площади светового пятна не регулируются, но интенсивность светового пятна воздействует на передачу низких пространственных частот. Из-за отрицательной обратной связи происходит ослабление низких частот аналогично методу нерезкой маски (см. также разд. 5.3) ¹.

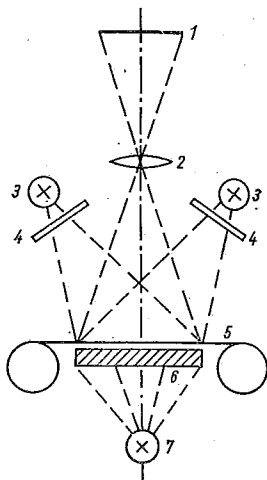
¹ В электронном копировальном приборе (Беляев [3*]) для печати с аэронегативов в качестве источника света используется кинескоп 35ЛК2Б, световое пятно которого (размером 4—8 мм) проектируется объективом Юпитер-3. Прибор рассчитан на печать с негативов до 200×200 мм с интервалом оптических плотностей до 1,8. Благодаря наличию обратной связи, уменьшающей интервал плотностей негатива, печать можно производить на фотобумаге с большим контрастом, добываясь таким образом улучшенной передачи мелких деталей. Прибор значительно ускоряет процесс печати. Так, в данном случае производительность составляет около 60 отпечатков в час. — *Прим. ред.*

Другой метод коррекции контраста, основанный на принципе тушения света флуоресценции инфракрасным светом, описан в работах Ватсона [186], Ломанна [141] и



Фиг. 44. Копировальная установка с электронным регулированием контраста в широких пределах.

1 — вторичный электронный усилитель (SEV); 2 — фотобумага; 3 — негатив; 4 — объектив; 5 — приемная трубка; 6 — генератор строк; 7 — усилитель.



Фиг. 45. Принципиальная схема установки для коррекции контраста, основанной на тушении света флуоресценции инфракрасным светом.

1 — приемный фотоматериал; 2 — оптика; 3 — источники ИК-света; 4 — ИК-фильтры; 5 — негатив; 6 — светящийся экран; 7 — источник УФ-света.

Майзеля [145]. Принципиальная схема установки показана на фиг. 45. Источник УФ-света возбуждает люминесценцию светящегося экрана 6, свет от которого через оптику 2 попадает на приемный фотоматериал 1. Кроме того, негатив освещается сверху двумя источниками ИК-света 3 через ИК-фильтры 4. За счет тушения света люминесценции на экране 6 возникает нерезкий позитив, степень нерезкости которого обусловлена расстоянием между 5 и 6.

Эффект, достигаемый на копии 1 при этом методе коррекции контраста, аналогичен использованию метода

с пропусканием, когда образуются негатив и нерезкая позитивная маска¹. Степень нерезкости, а также градационные характеристики регулируются изменением расстояния между негативом и экраном.

В описанных выше двух системах коррекции контраста регулирование в области почернений $D > 1,5$ вряд ли возможно².

5.2. Методы фильтрации частот

5.2.1. Основы метода с фильтрацией деталей

Метод с фильтрацией (ФД-метод) деталей является фотохимическим методом маскирования. При экспонировании пропитанного проявителем фотографического материала в слое образуется нерезкая, фотохимически регулируемая маска. Аналогичный принцип использования такого метода печати был вначале предложен Мортимером (см. [170, стр. 66]), Менте [147] и позднее Эммерманом [33] для разделения полутонов.

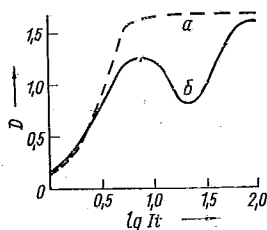
Указанные авторы разрабатывали метод разделения полутонов исключительно для целей художественной фотографии. Оригинальный негатив, помещенный в увеличитель, печатался с несколькими экспозициями на пропитанную проявителем фотобумагу. Особенно хорошо воспроизводились при печати начальный участок характеристической кривой и область передержек негатива.

¹ Удобной разновидностью маскирования такого типа является метод с использованием явления фотохромии (Гилев и др. [10*], аналогичный флуоресцентному методу маскирования с тем различием, что маской служит фотохромная пленка из полиметилметакрилата, сенсibilизированная веществом типа спиропиранов. Пленка скрепляется с негативом, как в методе фотографического маскирования. При действии на эту систему УФ-света происходит окрашивание маски, более интенсивное в светлых местах негатива, и автоматическое маскирование. Печать с маскированного негатива осуществляется контактно в копировальном приборе при использовании спектральной зоны в области поглощения маски. Сенсibilизированную пленку можно использовать многократно, так как через несколько часов изображение маски обесцвечивается. — *Прим. ред.*

² В действительности диапазон регулирования контраста в этих системах значительно больше. Он ограничивается только величиной экспозиции и степенью маскирования, которая может варьироваться в широких пределах. — *Прим. ред.*

В средних плотностях негатива, лежащих на линейном участке характеристической кривой, из-за обращения изображения возникал изгиб.

Эта область обращения лежит на «несущественных» для художественной фотографии участках изображения.



Фиг. 46. Характеристические кривые в методе разделения полутонов [9].

a — для фотослоя при обычном экспонировании (80 с);
б — для пропитанного проявителем фотослоя при прерывистом экспонировании (20+160 с).

Бэкстрём и Хафстрём [9], а также Людвиг [142] исследовали зависимость интервала почернений в методе разделения полутонов от частоты прерывания экспозиции. Они показали, что при прерывистом освещении обращение изображения в средних почернениях не исчезает. На фиг. 46, взятой из работы [9], показан ход характеристической кривой. Кривая *a* — характеристическая кривая слоя при обычном экспонировании. Кривая *б* — типичная характеристическая кривая пропитанного проявителем фотослоя при прерывистом экспони-

ровании. Обращение изображения отчетливо просматривается в форме очень широкой эквиденситы (см. разд. 6.2).

В цитированных работах указывалось лишь на возможность сильного выравнивания контраста методом разделения полутонов; об одновременном повышении контраста в деталях не упоминалось. Более точные исследования Лау и Вайде [125, 128, 129] на фотоматериалах, пропитанных проявителем, показали, что при *непрерывном* освещении обращение изображения или широкие эквиденситы исчезают, однако одновременно наблюдается усиление контраста в деталях. Этот эффект можно сделать особенно заметным, если вместо фотобумаги использовать высококонтрастную фотопленку (или пластинки).

Если изображение, полученное на пропитанной проявителем пленке, напечатать еще раз на фотопленке с предварительной пропиткой, то будет происходить заметное усиление описанного выше эффекта. Подобную пе-

чать можно повторять несколько раз для достижения необходимого результата.

Степень выравнивания контраста на низких пространственных частотах при однократном копировании определяют следующие параметры:

1. Интенсивность освещения при копировании. ✓
2. Концентрация и тип проявителя.
3. Экспозиция.
4. Тип копируемого фотоматериала и толщина его эмульсионного слоя.

В приведенной ниже таблице показано влияние этих параметров на степень выравнивания контраста.

Интенсивность освещения	Концентрация проявителя	Экспозиция	Толщина слоя	Выравнивание контраста
Низкая	Концентри- рованный	Короткая	Относительно толстый	Небольшое
Высокая	Разбавлен- ный	Длитель- ная	Относительно тонкий	Хорошее

Исходя из технического принципа и выбирая соответствующие параметры для регулирования степени выравнивания контраста, можно сделать вывод о том, что метод фильтрации деталей позволяет получить хороший фотографический эффект. Для достижения необходимого копируемого эффекта фотохимическим путем используется эффект Сабатье (см. разд. 6.2) в сочетании с эффектом смежных мест, называемым также эффектом Эберхарда.

Поскольку при экспонировании фотопленки, пропитанной проявителем, перемещения проявителя и замены его свежим проявителем с наружной стороны слоя не происходит, эффект смежных мест проявляется еще отчетливее. Еще большее усиление этого эффекта происходит в том случае, когда фотослой пропитывается строго ограниченным количеством проявителя, который к тому же сильно разбавлен. Таким образом, решающей в этом процессе является диффузия свежего проявителя и продуктов окисления проявителя, тормозящих процесс про-

явления, а также ионов Вг^- в глубь эмульсионного слоя. Эффективность метода фильтрации частот определяется процессом диффузии.

Эффект химического действия схематически можно разделить на два типа в зависимости от условий протекания диффузии:

1. Если фотоматериал имеет эмульсионный слой небольшой толщины, то возможна полная замена израсходованного проявителя и продуктов его окисления свежим проявителем благодаря диффузии в глубь фотослоя перпендикулярно его поверхности. Кроме того, поскольку количество проявителя ограничено, этот процесс в основном способствует выравниванию контраста на низких пространственных частотах.

2. При диффузии параллельно поверхности фотослоя вследствие эффекта смежных мест наблюдается определенное повышение резкости края. Такой характер процесса диффузии обеспечивает увеличение контраста на высоких пространственных частотах.

Для изображения резкого края наблюдается следующее распределение почернений. Свежий проявитель, диффундирующий от слабо экспонированных к сильно экспонированным местам, образует непосредственно на краю сильно экспонированного участка *кайму* почернения. Продукты окисления проявителя и ионы Вг^- диффундируют в противоположном направлении; они тормозят процесс проявления и образуют *светлую* окантовку. В случае истощения свежего проявителя на недоэкспонированных местах из-за частичной его диффузии к сильно экспонированным участкам возникает аналогичная картина.

В результате воздействия описанных выше эффектов проявления на резко очерченном крае, образующемся на фотослое при обычном проявлении, возникают кайма (увеличенная плотность почернения) и светлая окантовка (уменьшенная плотность почернения). Поскольку в процессе проявления может быть израсходовано ограниченное количество проявителя, степень почернения сильно экспонированного участка может достигать определенного значения D_0 . К сожалению, вследствие образования каймы на крае за счет диффузии свежего проявителя

с других участков фотослоя плотность почернения может быть больше, чем D_0 . В тех местах фотослоя, где имеет место эффект обрамления, можно часто видеть, что плотность почернения меньше плотности вуали. Зная ширину изображения кайма — светлая окантовка, можно определить степень влияния диффузии на распределение почернений — так называемую эффективную длину диффузии.

Эффективная длина диффузии диффундирующих в слое веществ имеет для метода фильтрации частот то же значение, что и степень нерезкости позитива в классическом методе нерезкой маски. Она определяет границу между низкими и высокими частотами, которые могут быть выровнены или усилены по контрасту.

Из-за диффузионного влияния в распределении почернений резкого края имеются два отчетливо выраженных экстремума, удаленных друг от друга в среднем на 0,2 мм. Отсюда следует, что максимальное увеличение контраста в методе фильтрации деталей может быть достигнуто при частоте 5—6 линия/мм.

На пространственной частоте, длина волны которой настолько мала, что наложенный максимум интенсивности двух соседних линий точно попадает в область диффузионного влияния на распределение почернений (в минимум почернений), наблюдается уменьшение контраста типа интеграционного процесса аналогично тому, как это происходит на низких частотах. Этот эффект возникает примерно на удвоенной пространственной частоте максимального усиления контраста, а также на частотах 10—12 линия/мм. Для такого процесса типичен характер резонанса. Глубина диффузии в фотослое, проявленном проявителем, определяется главным образом задубленностью желатины. Путем соответствующего предварительного задубливания фотослоя формалином, как, например, в МВГ-методе¹, применявшемся Хёгнером [67],

¹ Мелкозернистый выравнивающий и гиперсенсibiliзирующий (МВГ) метод основан на предварительной обработке негативного фотоматериала в формалиновом растворе с последующей определенной сушкой. При этом чувствительность и фотографическая широта негативного фотослоя значительно возрастают, а зернистость сильно уменьшается. Слои, обработанные таким методом, имеют ограниченное время применения.

глубину диффузии и, следовательно, степень ее влияния можно регулировать в широких пределах. При этом происходит также смещение максимума увеличения контраста в область более высоких пространственных частот. Так, например, после предварительной обработки копировального материала 5%-ным раствором формалина и последующей обработки методом фильтрации деталей максимум находится в области частот 15 линия/мм. Применяя при предварительной обработке растворы формалина различной концентрации, можно изменять величину максимума увеличения контраста.

5.2.2. Стандартная обработка

Стандартная обработка основана на приемах обработки метода фильтрации деталей. Чтобы получить стабильные результаты для широкой области применений, необходимо выбрать также значения параметров из таблицы, приведенной на стр. 42—45. Для специфических задач метод фильтрации деталей можно применять при соответствующем изменении условий стандартной обработки.

В методе фильтрации деталей в качестве копировального материала используется пленка с максимальной контрастностью. При неактивном освещении, соответствующем выбранному типу фотоматериала, пленка опускается в кювету с проявителем приблизительно на 1 мин. Проявитель следует наливать только в хорошо вымытую кювету. После пропитки проявителем пленку вынимают из кюветы и держат вертикально, чтобы стекли оставшиеся капли. Затем к обеим сторонам сырого фотоматериала прикатываются тонкие, хорошо очищенные прозрачные пленки. При этом остатки избыточной влаги равномерно распределяются в фотослое. Подготовленный таким образом фотоматериал, пропитанный проявителем, можно помещать в увеличитель или в аппарат для контактной печати, как и обычную сухую пленку.

Подлежащий печати негатив копируется на подготовленный фотослой обычным способом с непрерывным освещением. Продолжительность экспонирования составляет 2 мин, и увеличивать ее не следует. Серебро изображения образуется во время экспонирования, так как

проявитель, находящийся внутри эмульсионного слоя, проявляет образующиеся серебряные центры. Этот процесс отчетливо наблюдается.

Изменяя интенсивность освещения, можно регулировать степень выравнивания контраста на низких пространственных частотах. Для не слишком плотных негативов наиболее пригодна интенсивность освещения 40—70 люкс. После окончания экспонирования следует удалить пленки с фотоматериала и сразу же опустить его в фиксирующий раствор. Фотослой должен быть нормально отфиксирован и высушен.

Первый позитив, полученный методом фильтрации деталей (ФД), обозначается ФД-I. Стандартная обработка предполагает дальнейшее использование этого позитива для копирования. Полученный при этом негатив ФД-II дает удвоенный эффект фильтрации деталей по сравнению с ФД-I.

Интенсивность освещения должна быть выбрана такой, чтобы необходимая степень выравнивания контраста на конечном негативе ФД-II была равномерно распределена между обеими ступенями печати. С конечного негатива ФД-II обычным копированием можно получить регулируемый по контрасту позитив на фотопленке или фотобумаге.

Ниже приводятся условия первичной обработки, выбранные на основании ряда экспериментальных данных:

*Копировальный материал для
ФД-метода*

*Неактиничное освещение
Проявитель для ФД-метода*

*Время пропитки проявителем
Длительность экспонирования*

Интенсивность освещения

*Фиксирующий раствор
Длительность фиксирования
Прозрачная пленка*

Пленка ORWO FU-5

Светло-зеленое.
ORWO MH-28, разбавленный
водой 1:4

1—2 мин

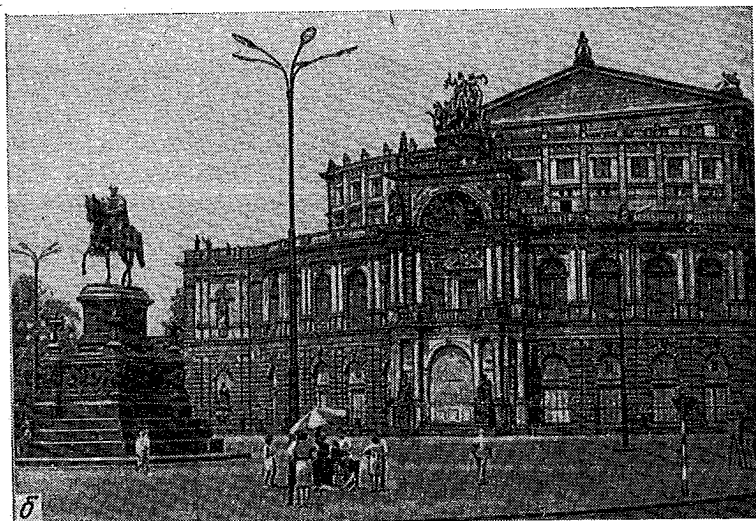
2 мин (при очень плотных негативах до 4 мин)

Обычно 40—70 люкс (в зависимости от желаемой степени выравнивания контраста)

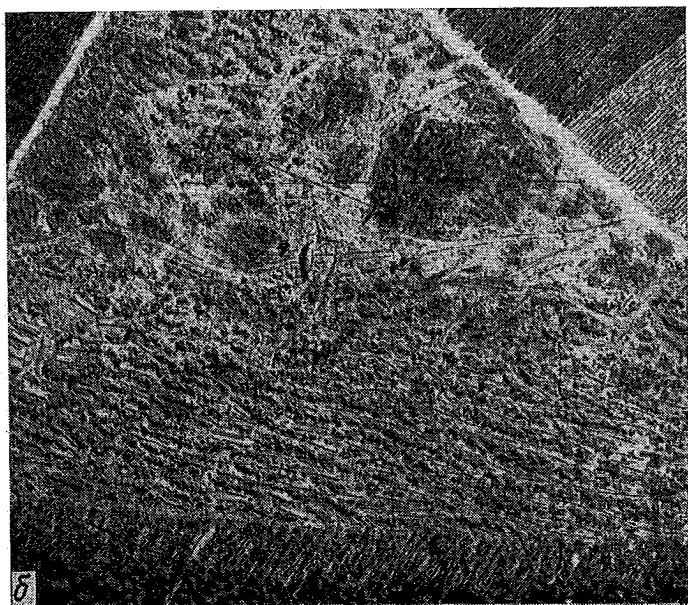
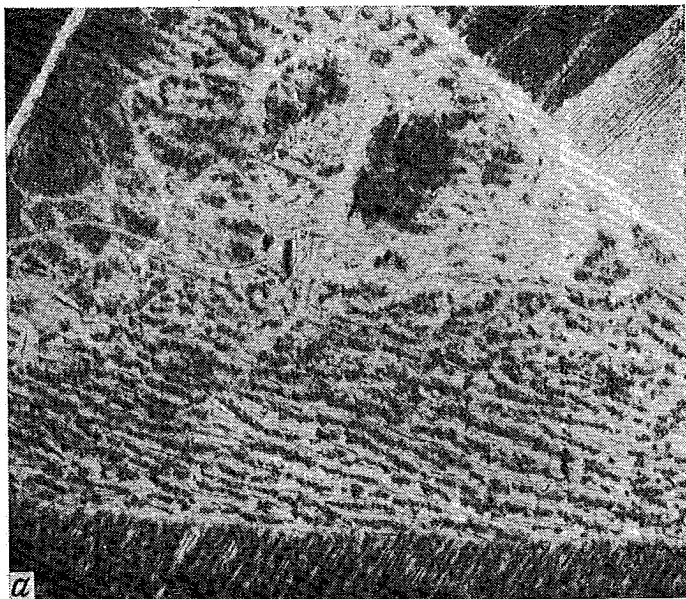
ORWO 300

1—2 мин

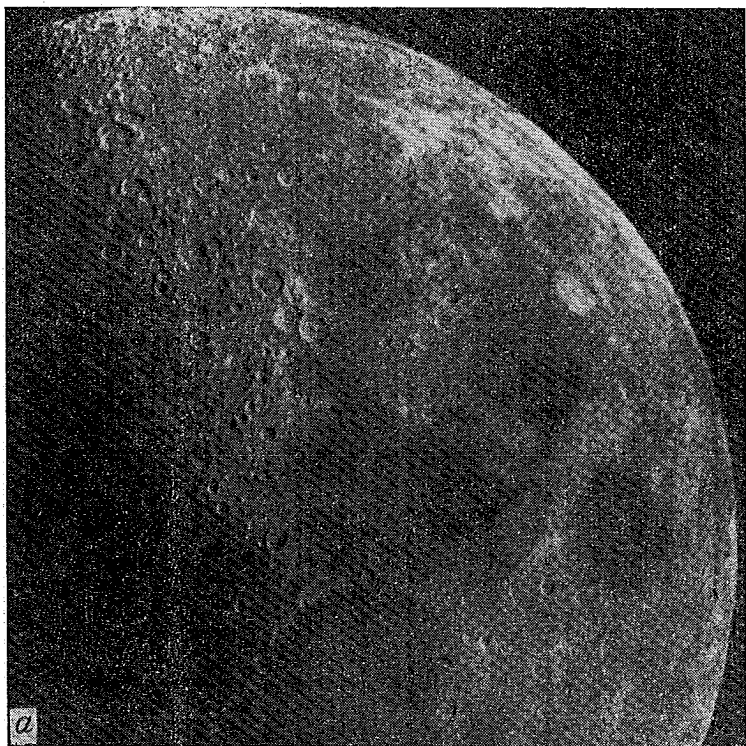
Styroxflex, толщина 0,03 мм



Ф и г. 47. Любительский снимок.
a — обычная копия; *б* — ФД-копия.



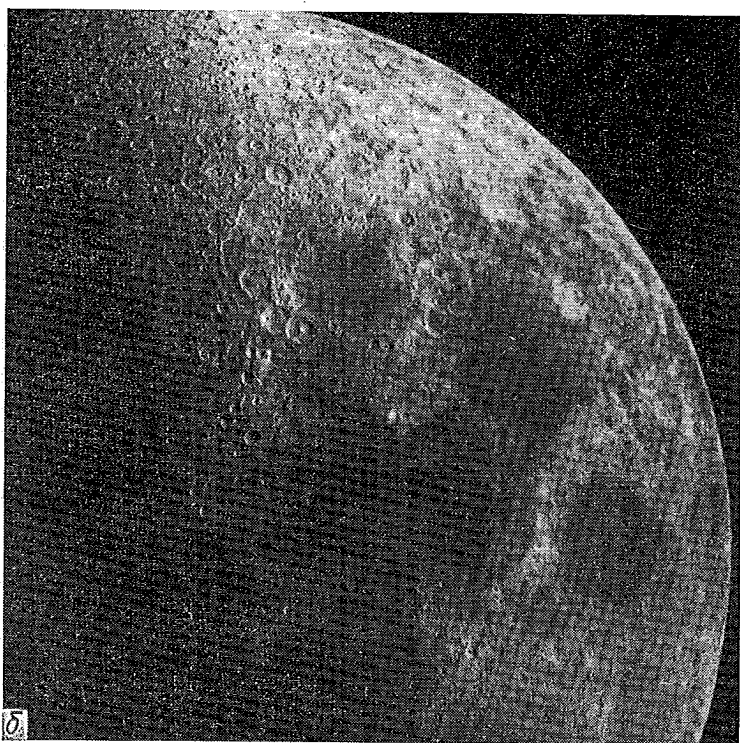
Ф и г. 48. Аэрофотоснимок.
a — обычная копия; *б* — ФД-копия.



Ф и г. 49. Фотография Луны (обсер-
а — обычная копия; б — ФД-копия.

Подготовленные для ФД-печати фотоматериалы обрабатываются при 20°C . Запасные образцы пленок следует хранить при температуре около 15°C . На очень плотных негативах регулирование интенсивности освещения в увеличителе или в аппарате контактной печати не дает желаемого результата. Чтобы добиться в таких случаях сильного выравнивания контраста, стандартную обработку следует привести в соответствие с данными таблицы, помещенной на стр. 42—45. Самый простой путь — снижение концентрации проявителя от 1:4 до 1:8.

При заданных условиях стандартной обработки и пе-



ватория Шварцшильда, Таутенбург).

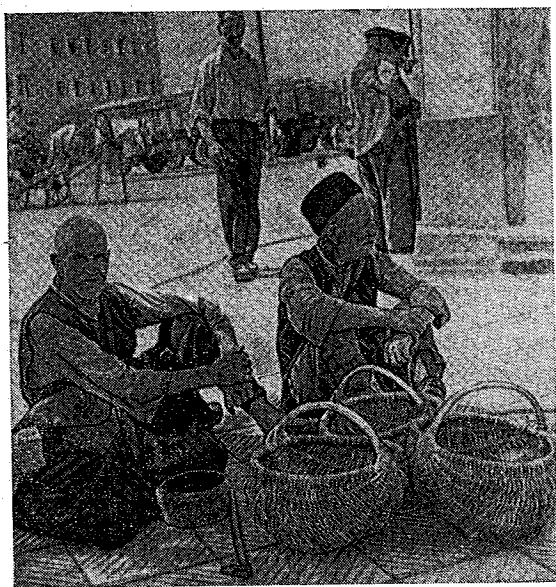
части на пропитанной проявителем промежуточной копии (ФД-копировальный слой) наблюдается усиление контраста в образующемся изображении на сравнительно низких пространственных частотах (от 2 до 10 линия/мм) с максимумом в области 5—6 линия/мм.

При изготовлении ФД-копии с увеличением при печати любую выбранную область пространственных частот оригинального негатива можно перевести в интервал усиления ФД-копировального слоя. Для этого первую ступень ФД-печати необходимо проводить по стандартной методике, но с соответствующим увеличением. Область



Ф и г. 50. Любительский снимок.

a — обычная копия; *б* — ФД-копия (стандартная обработка 1:1).



Фиг. 51. ФД-Копия со стандартной обработкой на фотоматериале, задубленном формалином (для сравнения с фиг. 50, б).

частот, достигаемая на основе оригинального негатива, определяется умножением коэффициента увеличения на предельное значение интервала усиления при ФД-печати.

Печать второй ступени (ФД-II) проводится контактным методом. Для резких малоформатных негативов наиболее подходит увеличение 1:3 или 1:4. в ФД-методе оригинальный негатив сохраняется как первоначальный документ.

На фиг. 47—50 иллюстрируются возможности применения метода фильтрации деталей со стандартной обработкой для различных целей. Пример смещения максимума усиления в область более высоких пространственных частот за счет предварительного задубливания копируемого материала формалином приведен на фиг. 51 (ср. с фиг. 50, б).

5.2.3. Метод фильтрации деталей с использованием фотоаппарата

Метод фильтрации деталей с большой эффективностью можно использовать также для прямой съемки неподвижных объектов и репродукции. В этом случае в качестве съемочного материала в фотоаппарате используется фотографический материал, подготовленный для ФД-процесса. Наиболее пригодна для этой цели форматная пленка ORWO FU-5, предварительно пропитанная проявителем с последующей накаткой с обеих сторон прозрачной тонкой пленки.

Репродукция с помощью ФД-метода дает даже при одноступенчатом процессе поразительно хороший негатив с выделением деталей. С этого негатива можно изготовить обычный отпечаток на фотобумаге.

Съемочный процесс исключает предварительное получение негатива с выравниванием контраста, так как при этом в фотографирующей системе фотоаппарат — светочувствительный слой получается ФПМ с требуемой регулировкой контраста. В итоге только одна ступень такого метода фильтрации деталей не уступает результатам, полученным обычным, стандартным, ФД-методом.

Пропитанный ФД-слой экспонируется в репродукционной камере, как обычно, до тех пор пока не будет закончено проявление. Продолжительность проявления составляет около 3 мин.

При съемке позитива размером 9×12 см² в масштабе 1:1 и освещении двумя 250-ваттными лампами оптимальные результаты получаются при диафрагме 22¹. Степень усиления пространственных частот позитива при стандартной обработке регулируется соответствующим масштабом увеличения или уменьшения. Ниже приведен пример использования этого метода для исправления пожелтевших снимков (фиг. 52).

¹ При диафрагмировании до относительного отверстия 1:22 резкость изображения будет заметно снижена, так как при таком отверстии объектива становится ощутимым влияние дифракции света на качество изображения. Лучше использовать относительное отверстие 1:8 или 1:11. — *Прим. ред.*



Ф и г. 52. Репродукция старого пожелтевшего снимка.
а — обычная репродукция; б — репродукция ФД-методом.

Комбинированный метод фотографирования с фильтрацией деталей может быть с успехом использован для получения изображений, имитирующих графику, с использованием полутонных оригиналов. Это иллюстрируется в книге на фиг. 79.

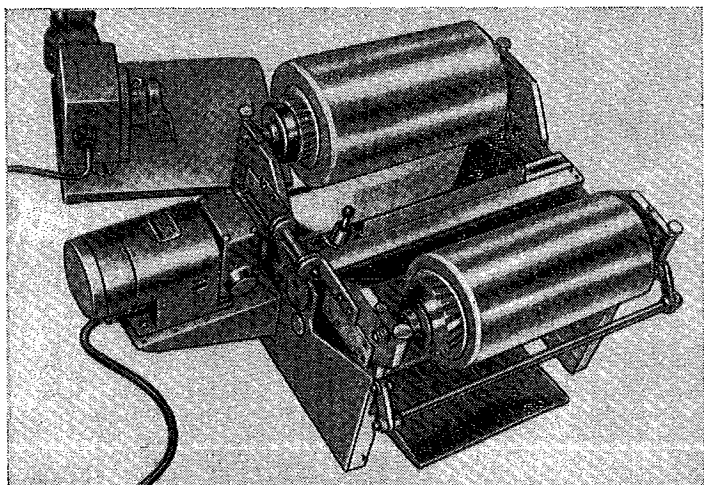
5.2.4. Прибор для накатки пленок

Метод фильтрации деталей дает хорошие результаты лишь в том случае, когда пропитанный проявителем слой имеет безупречное двустороннее покрытие из прозрачных пленок. Накатанная пленка выполняет следующие функции: пропитанный проявителем слой можно использовать как обычный сухой фотоматериал, возможна контактная печать; пленка предотвращает испарение проявителя из слоя и окисление довольно сильно разбавленного проявителя кислородом воздуха; избыточный проявитель, оставшийся после пропитки слоя в растворе проявителя, аккуратно запрессовывается.

Однако здесь могут возникать ошибки из-за того, что пленка неравномерно накатана, как это часто наблюдается при накатке с помощью ручного валика. В этом случае проявитель неравномерно распределяется по всей площади, что приводит к изменению формы характеристической кривой на отдельных участках фотоматериала. Таким же образом мешают пузырьки воздуха, находящиеся подобно частицам пыли между фотослоем и пленкой. Частицы пыли при накатке пленки вдавливаются в фотослой и вытесняют в этом месте проявитель, что ведет к образованию вокруг них черных колец. Частицы пыли, находящиеся на наружной стороне прозрачной пленки, несмотря на малый размер, также являются источником помех при печати ФД-копии, так как происходит усиление контраста. Число искажений возрастает с увеличением числа повторений ФД-процесса.

Перечисленные выше искажения нельзя устранить, используя обычные приемы ручной накатки пленки валиком.

Для решения этой технической задачи Вайде [190] сконструировал прибор для механической накатки пленки специально для ФД-метода. На фиг. 53 показан



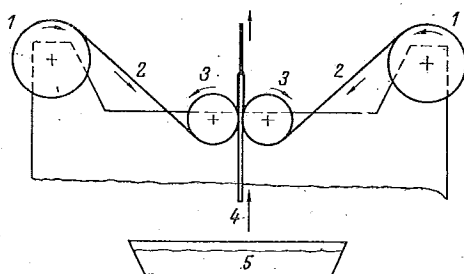
Фиг. 53. Прибор для накатки пленок.

лабораторный образец этого прибора. Принципиальная схема прибора показана на фиг. 54. Прозрачная пленка подается с двух бобин вниз на вращающиеся резиновые накатывающие валики и затем движется вверх. Резиновые валики пружинами прижимаются друг к другу. Пропитанная проявителем фотопленка вводится снизу (в направлении стрелки) между накатывающими валиками, где и происходит накатка на нее с двух сторон прозрачных пленок. Отжатый из слоя проявитель стекает по пленке вниз и скапливается в самой низкой точке траектории движения пленки, находящейся ниже накатывающих валиков. При этом проявитель не может попасть на подающую бобину. Так как пленка проходит кратчайший путь от подающих бобин до накатывающих валиков, ее можно эффективно защитить от попадания пыли. Пружинный прижим валиков навстречу друг другу обеспечивает равномерную накатку по всей поверхности фотоматериала.

Фотослой с накатанными с двух сторон пленками после прохождения между валиками протягивается вверх вручную. Если часть фотопленки остается в накатываю-

щих валиках, то прозрачную пленку можно отделить с помощью вмонтированного ножа. Привод накатывающих валиков включается ногой.

Прибор для накатки пленок значительно улучшает воспроизводимость ФД-метода, поэтому он вполне пригоден для практических целей. Одновременно значительно сокращается время, необходимое для накатки пленки на фотоматериал.



Фиг. 54. Принципиальная схема к фиг. 53.

1 — прозрачная пленка; 2 — фотоматериал; 3 — кювета с проявителем.

5.2.5. Фильтрация деталей в процессе проявления (ФДП-метод)

Лау [113—116, 131] предложил упрощенный фотографический метод, улучшающий передачу деталей и основанный на том же принципе фильтрации деталей. Используя измененную по сравнению со стандартной обработкой технологию, путем изменения двух параметров — длительности проявления и концентрации проявителя — можно добиться увеличения контраста в области более высоких пространственных частот (вплоть до 30 линий/мм). Благодаря этому можно обрабатывать также малоформатные негативы, используя контактную печать. Сначала изображение печатают на фотоматериале с очень высоким коэффициентом контрастности ORWO FU-5. Затем фотослой переносят, как обычно, в проявитель, разбавленный в зависимости от необходимой степени выравнивания контраста и области усиливаемых частот. Проявление фотоматериала длится несколько се-

кунд, после чего его накатывают на стеклянную пластинку. Наибольшие плотности, образующиеся в этом случае, лежат вблизи $D=1$, однако резкие края и мелкие детали также в значительной степени усиливаются.

ФДП-метод также основан на усилении более высоких пространственных частот вследствие диффузии свежего проявителя и продуктов окисления, тормозящих проявление. Скорость проявления зависит от степени диффузии этих продуктов в эмульсионный слой и от характера пространственных частот, которые необходимо усилить. При постоянной температуре скорость проявления зависит от концентрации проявителя. В высококонцентрированных проявителях процесс протекает значительно быстрее и степень диффузии очень мала; в этом случае усиливаются более высокие пространственные частоты.

Следующими параметрами являются длительность экспонирования и длительность первого проявления. Чем длительнее экспонирование и первое проявление, тем быстрее идет процесс проявления и тем в большей степени усиливается контраст высоких пространственных частот. При использовании более концентрированного проявителя и более длительного первого проявления степень выравнивания контраста соответственно уменьшается. Напротив, при более длительном экспонировании, т. е. при сильной передержке, степень выравнивания контраста быстро возрастает.

Для достижения желаемого выравнивания контраста и области усиливаемых частот следует определить экспериментально оптимальные значения этих параметров.

Воспроизводимые результаты получаются при употреблении проявителя с определенной температурой, например 18°C .

5.2.5.1. Практические указания

Если используется негатив, ФДП-процесс следует разделить на две стадии. При обработке малоформатных негативов с использованием контактной печати выбирают такие параметры проведения процесса, чтобы на резких негативах усиливалась область частот вплоть до 30 линий/мм.

Оригинальный негатив копируют на высококонтрастном фотоматериале примерно с десятикратной передержкой. Затем в течение 20 с проводят предварительное проявление, при котором необходимо следить за равномерным смачиванием фотослоя.

После первого проявления фотоэмульсию быстро накачивают на стекло, чтобы затормозить процесс проявления. Делать все это нужно очень аккуратно. Пластика должна быть тщательно очищена, в проявителе тоже не должно быть следов пыли или других загрязнений. Проявление с накаткой на стеклянную пластинку длится около 5 мин. После промывки фотослой фиксируют, как обычно. Прозрачную пленку можно накачивать и на фотопластинки. Полученный таким образом негатив можно еще раз подвергнуть аналогичной обработке.

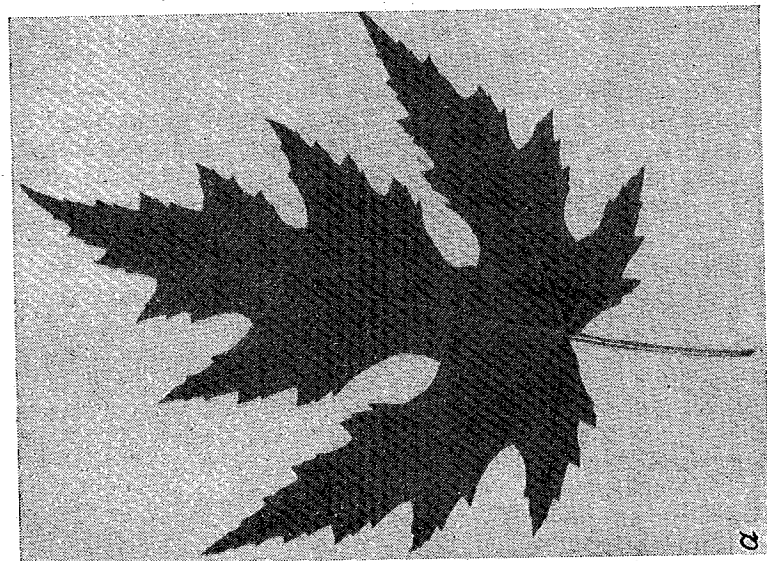
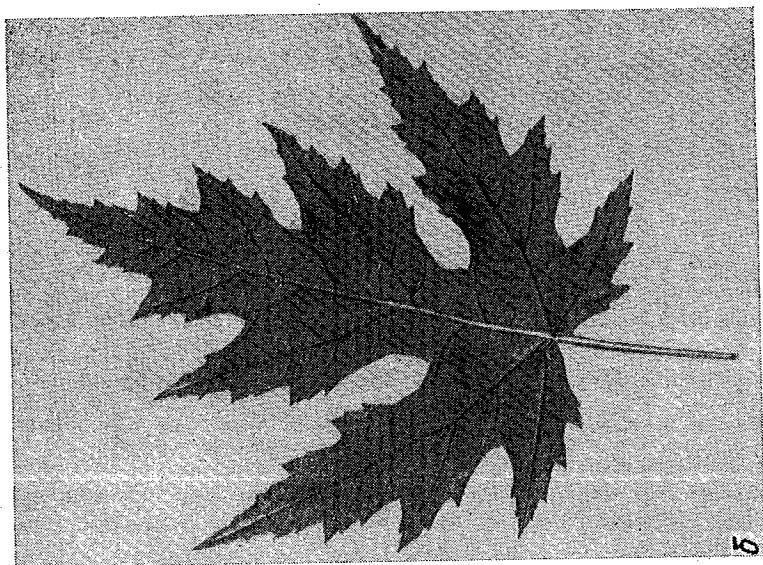
При выборе параметров следует учитывать, что первая промежуточная копия (позитив) имеет уменьшенный контраст. Если оригинальный негатив имеет повышенный контраст, то его можно улучшить равномерной предварительной или последующей засветкой, имеющей интенсивность порядка $1/10$ интенсивности копировального света.

На фиг. 55 приводится один из примеров, иллюстрирующих эти методы.

5.2.6. Рецепты и материалы

Копировальный ФД-материал	ORWO FU-5
Неактиничное освещение	Светло-зеленое (113 D)
Проявитель для ФД-процесса	ORWO MH-28 1:4 (при ДФП-методе от 1:1 до 1:10), разбавлен водой, 18°C
Фиксажная ванна и длительность фиксирования	ORWO A-300, 1—2 мин
Прозрачная пленка	Стирофлекс, толщина 0,03 мм
Предварительное дублирование пленки ORWO FU-5	
Неактиничное освещение	Светло-зеленое (113 D)

1. Обработка неэкспонированной пленки в дубящем растворе в течение 1—2 мин.



Ф и г. 55. Снимки кленового листа.
а — обычный снимок; б — снимок, изготовленный ФДП-методом.

Дубящий раствор

Формалин, конц.	50 мл
Вода дистиллированная	1000 мл

2. Промывка водой в присутствии смачивающего средства 3 мин с покачиванием.
3. Сушка в термостате в течение 30 мин при 35° С.

5.3. Сравнение методов регулирования контраста

Методы регулирования контраста, описанные в разд. 5.1 и 5.2, при их практическом применении для качественного и количественного дешифрирования изображений должны удовлетворять ряду требований. Наиболее существенны из них следующие:

1. Выделение контраста мелких деталей при одновременном уменьшении контраста на более низких пространственных частотах.

2. Достижение определенного интервала почернений в конечном позитиве при заданном значении максимальной плотности.

3. Выделение для каждой области применения определенной границы между низкими и высокими пространственными частотами.

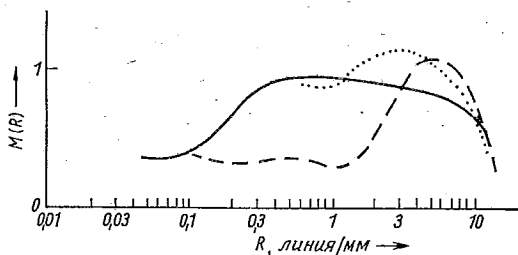
Сравнение принципиальных возможностей на примере трех различных путей решения поставленных задач с точки зрения достижения оптимальных результатов проведено в работах Гёрлиха и др. [50] и Херды и др. [60].

Из методов фильтрации деталей была выбрана стандартная обработка, наиболее часто применяемая в практике дешифрирования негативов (см. разд. 5.2.2). Сине-желтое тонирование было выбрано как самый простой и дешевый метод преобразования изображения. Для автоматического регулирования применялся электронный прибор «Элькоп» (народное предприятие «Карл Цейсс», Йена) (см. разд. 5.1.3).

На фиг. 56 приведены функции передачи модуляции трех перечисленных выше методов во всей области пространственных частот, представляющей интерес. Кривая ФПМ для методов классической маски (см. разд. 5.1.2)

при таком представлении лежит между кривыми, полученными с помощью прибора «Элькоп» и методом сине-желтого тонирования.

В то время как для метода сине-желтого тонирования характерна определенная область усиления пространственных частот, прибор «Элькоп» позволяет регулировать



Ф и г. 56. Функции передачи модуляции.

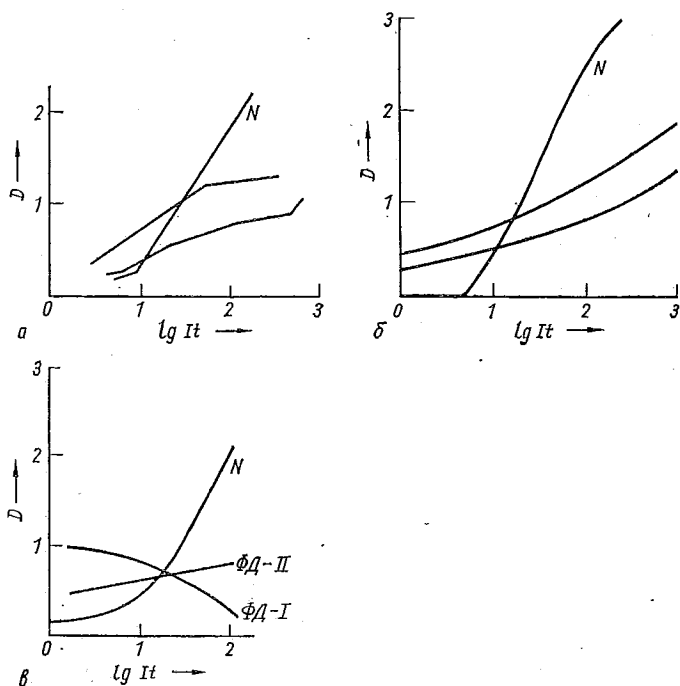
— 1 — «Элькоп»; СЖ; — — — ФД.

контраст на более низких частотах, а ФД-метод — на более высоких частотах. В приборе «Элькоп» это достигается изменением диаметра сканирующего пятна, а в ФД-методе — выбором коэффициента предварительного увеличения на первой стадии ФД-процесса.

В описанных методах граница между низкими и высокими пространственными частотами, определяющая передачу контраста деталей (т. е. выравнивание или усиление контраста), имеет следующие значения (линия/мм):

Прибор «Элькоп»	0,15
Сине-желтое тонирование . . .	1
ФД-метод	2,5

Максимальная степень регулирования контраста (см. разд. 5.1) для всех трех методов лежит в пределах 85—90%. Как показывают характеристические кривые (фиг. 57), регулирование контраста возможно в пределах двух порядков изменения интенсивности при использовании прибора «Элькоп» и ФД-метода и в пределах трех порядков в методе сине-желтого тонирования.



Ф и г. 57. Характеристические кривые.

a — выравнивание контраста с помощью прибора «Элькон»; $б$ — выравнивание контраста методом сине-желтого тонирования; $в$ — выравнивание контраста ФД-методом; N — оригинальный негатив.

Это сравнение показывает, что существуют три принципиально различных способа регулирования контраста, взаимно дополняющих друг друга. Эффективность применения этих методов зависит от поставленной задачи.

6.

МЕТОДЫ МАРКИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ПЛОТНОСТЕЙ

Фотографическое изображение, или *фотограмма*, представляет собой двумерное распределение оптической плотности, которому соответствует геометрическое распределение количества света, воздействовавшего на фотослой.

В предыдущих главах было показано, как лучше извлечь художественную информацию из негатива. Для многих целей, прежде всего научных, имеющуюся фотограмму частот необходимо *трансформировать* в другую с целью получения определенной информации. Так, например, возникает необходимость *выделить* в изображении определенные оптические плотности и отмаркировать их или использовать для измерительных целей. Если, например, серый ступенчатый клин превратить в цветной ступенчатый клин, то определенным оптическим плотностям будут соответствовать определенные цветовые тона; негатив трансформируют в изображение в условных цветах (Фрике [38]), которое позволяет получить сведения о распределении определенных темных участков в изображении и тем самым сделать выводы о распределении яркостей на предмете, давшем изображение. Для этой цели имеются фотографические методы выделения оптических плотностей цветом или цветным проявлением (Эйхлер [31], Ангерштейн, Канкельвитц, Круг и Раков [4, 5], Канкельвитц и Бач-Теш [80]), однако были найдены также и пути решения задачи с применением электроники (Фишер и Гершон-Коэн [36]). Таким образом, здесь речь идет о дифференцировании почернений без потери сущности изображения.

Многие научные задачи требуют извлечения из фотограммы определенного значения почернения — так назы-

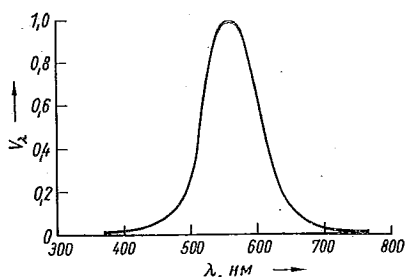
ваемой эквиденситы. Для дешифрирования двумерного изображения имеющуюся фотограмму трансформируют в эквиденситограмму (Круг и Лау [96]). Эта трансформация вместо изображения дает места одинаковой оптической плотности на изображении, например изофоты на предмете, давшем изображение. Здесь речь идет о двумерной фотометрии с высокой точностью измерения.

Таким образом, можно указать два основных метода маркировки оптической плотности: сохранение состава изображения при использовании свободного параметра цвета или отказ от этой связи в пользу точности измерения, возросшей почти до полного извлечения информации. Путем комбинирования (или монтажа) можно объединить оба метода.

6.1. Выделение оптических плотностей цветом

Выделение оптических плотностей цветом основано на методе маркировки оптической плотности цветом. При этом весь интервал оптических плотностей изображения подразделяется на более или менее широкие интервалы плотностей, передаваемые различными цветами. Особое преимущество при этом состоит в том, что таким путем сохраняется полная информация, содержащаяся в изображении. При переходе от одного интервала плотности к другому прежде всего изменяется цвет. В пределах интервала яркостей детали изображения передаются путем изменения цветной плотности. Глаз очень тонко реагирует на различия в пределах одного цвета. Переход от одного цвета к другому, соответствующий переходу от одного интервала яркостей к другому, происходит в интервале, наиболее чувствительном для глаза, если граничащими являются контрастные цвета (например, зеленый и красный). Таким путем можно полностью использовать чувственно-физиологический эффект цветового контраста для повышения чувствительности при различии в оптических плотностях. В наиболее благоприятном интервале цветового контраста глаз способен различать цвета значительно чувствительнее, чем восприни-

мать различия в яркостях. Поскольку *различительная чувствительность* глаза к цветовым тонам сильно изменяется с изменением яркости, при всех методах выделения оптических плотностей цветом следует обратить внимание на оптимально подобранное освещение, при котором происходит рассматривание (интенсивность, цветовая температура). Из кривой спектральной чувствительности

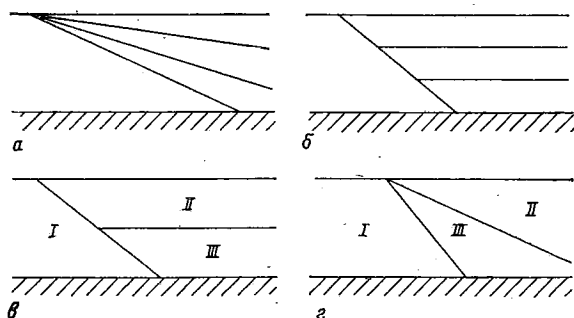


Ф и г. 58. Кривая спектральной чувствительности глаза.

глаза (фиг. 58) видно, что зеленые и желтые цвета лучше всего использовать для недоэкспонированных или слабо экспонированных участков изображения. В качестве контрастных цветов для зеленого и желтого особенно подходят красный и пурпурный цвета соответственно. Предел контрастности при выделении оптических плотностей цветом должен попадать в зону оптических плотностей, представляющих наибольший интерес.

Для выделения оптических плотностей цветом необходимо провести цветное проявление черно-белого изображения. Цветное проявление основывается на двух различных принципах, отличающихся с точки зрения образования красителя. С одной стороны, краситель может образоваться, если продукт окисления проявляющего вещества сам выпадает в окрашенный осадок (желто-коричневый краситель при пирокатехиновом или пирогалловом проявлении). В другом случае происходит проявление красителя цветообразующими компонентами, которые уже присутствуют в эмульсионном слое обычных цветных пленок. При выделении оптических плотностей

цветом соответствующие цветообразующие компоненты вводятся в состав проявителя. Таким образом, краситель образуется в результате соединения продукта окисления проявляющего вещества с цветообразующей компонентой, давая бесцветный промежуточный продукт — так называемое лейкосоединение, которое при дальнейшем восстановлении серебра превращается в краситель. Процесс проявления в принципе можно разделить на первичное и



Фиг. 59. Выделение оптических плотностей цветом.

a — первичное проявление (веерообразное расположение элементарных слоев); *б* — вторичное проявление (параллельное расположение элементарных слоев); *в* — выделение оптических плотностей зеленым — красным цветом (*I* — бесцветное, *II* — зеленое, *III* — красное); *г* — цветное проявление с обращением (*I* — пурпурное, *II* — желтое, *III* — бесцветное).

вторичное проявление, которые в основном отличаются структурой оптических плотностей внутри слоя. При первичном цветном проявлении (при этом скрытое изображение проявляется также в цвете) плотность создается *веерообразно* (фиг. 59, *a*). При вторичном проявлении (после первичного черно-белого проявления и восстановления) возникает *параллельное* распределение образующихся плотностей (фиг. 59, *б*). Для выделения оптических плотностей цветным проявлением большое значение имеет вторичное цветное проявление. В результате параллельного проявления оно позволяет проявить разные цвета на различной глубине слоя. За счет этого в зависимости от оптической плотности получают субтрактивное смешение цветов.

6.1.1. Выделение оптических плотностей цветом в слое

Для выделения оптических плотностей цветом можно использовать обычные фотографические материалы с достаточной контрастностью и обычным содержанием серебра. Отфиксированное изображение отбеливают на свету, затем проводят цветное проявление последовательно в двух (максимум в трех) цветных проявителях с различными цветообразующими компонентами. В зависимости от длительности проявления в растворах происходит изменение цвета в соответствующем месте изображения. Самым простым и эффективным методом выделения оптических плотностей цветом в слое оказалось быстрое неполное проявление в зеленом проявителе (смесь желтой и синей компонент) и полное проявление в красном проявителе (смесь желтой и пурпурной компонент) (фиг. 59, в). Это выделение оптических плотностей, переходящее от голубовато-зеленого через оливковый в красно-бурый цвет, оказалось особенно пригодным для различения лиственных и хвойных лесов при аэрофотосъемках. В качестве примера простого выделения оптических плотностей зеленым — красным цветом были выбраны фото 2 и 3; фото 2 — это снимок смешанного леса, снятого на солнце с высокой башни; фото 3 иллюстрирует соответствующее выделение оптических плотностей цветом. Из различия в оптических плотностях получились простые цветовые контрасты, которые можно дешифровать (Вольф [196, 197]).

6.1.2. Комбинированный метод выделения оптических плотностей цветом

Другую возможность успешного применения выделения оптических плотностей цветом, дающего особенно хорошо различимое по оптическим плотностям изображение в условных цветах, представляет собой комбинированный метод выделения оптических плотностей цветом. Этот метод основан на том принципе, что с одного объекта делают два снимка с одинаковой общей плотностью на два фотоматериала с различной оптической сенситивизацией. Оба эти снимка, проявленные в черно-бе-

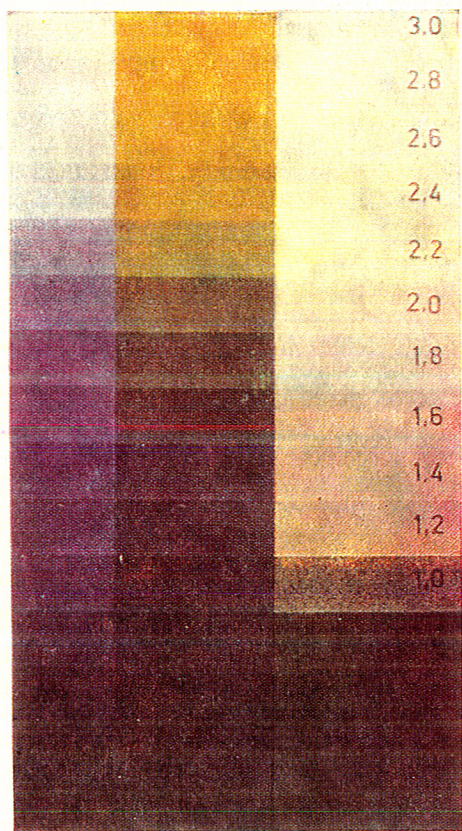


Фото 1. Метод сине-желтого тонирования.



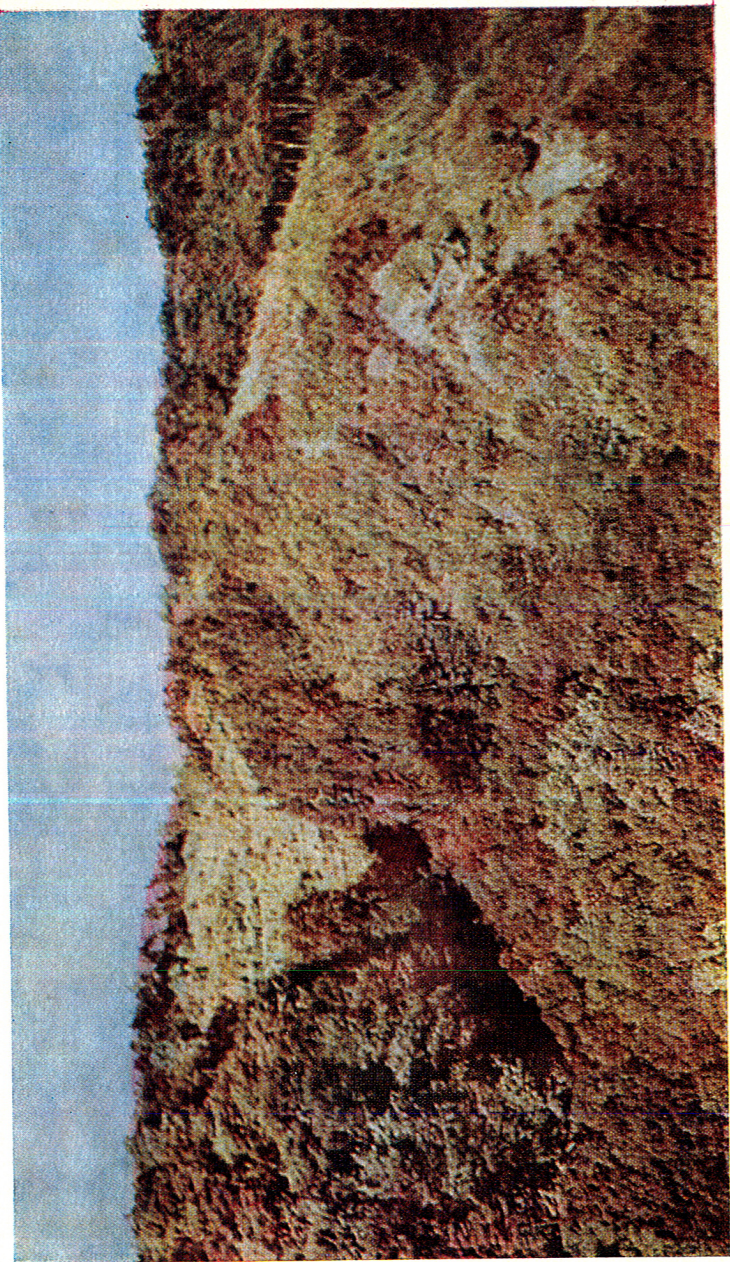


Фото 3. Выделение цветом оптических плотностей фото 2.

лом проявителе, проявляют затем поочередно в цветном проявителе в контрастные цвета — зеленый и красный. При наложении одного снимка на другой комбинация зеленого и красного снимков дает двухслойную цветную пленку с изображением в условных цветах, на которой очень легко различаются оптические плотности и которую затем можно легко дешифровать. Поскольку в комбинированном методе выделения оптических плотностей цветом каждый слой снимают и проявляют в цветном проявителе отдельно, разрешающая способность и цветовой баланс, а следовательно, и различимость значительно лучше и проще, чем у известных пленок с изображением в условных цветах (например, *спектрозональная пленка*) с двумя слоями на одной основе ¹.

Комбинированный метод выделения оптических плотностей цветом использовался, например, для оптимального дешифрирования содержания информации снимков леса на панхроматической аэрофотопленке с красным светофильтром и на инфракрасной пленке без светофильтра.

На практике цвета можно дифференцировать либо на оригинальном снимке, либо на сделанных с него черно-белых копиях, если оригинальные снимки нужно сохранять как документы или каждый из них приходится дешифровать еще и другим методом. В нашем примере черно-белые копии панхроматической пленки были проявлены в основном цвете — красном, который дифференцирован через желтый, красный и пурпурный. Копии инфракрасной пленки были дифференцированы в основном цвете — зеленом — через желтый, зеленый и синий цвета. Обе эти копии с выделением оптических плотностей цветом при наложении одна на другую дают весьма наглядное изображение в условных цветах, позволяющее легко и хорошо различить вид, состояние и возраст деревьев.

¹ В настоящее время резкость изображения спектрозональных пленок не уступает черно-белым, что сделало возможным их применение в различных научно-технических исследованиях [47*]. Следует отметить, что спектрозональное фотографирование впервые было успешно использовано чл.-корр. АН СССР Г. А. Тиховым в 1909 г. при изучении Марса и Сатурна, а в применении к аэрофотографии развито В. А. Фаасом и А. Н. Иорданским [46*]. — *Прим. ред.*

На фото 5 показан комбинированный метод выделения оптических плотностей цветом района лиственного леса; фото 4 — это копии панхроматической и инфракрасной пленок. При этом нужно было различить дубовые леса по видам, которые распускаются в начале, в середине и в конце весны. На данном снимке можно легко и точно различить виды по цветовым скачкам: зеленый, желтый и красно-бурый.

В принципе существует также возможность наложения один на другой негатива и позитива, окрашенных по-разному. При этом один из них должен быть более прозрачным, чтобы он мог служить цветной маской. Подобное цветное изображение с маской иногда дает улучшенное различение деталей на отдельных местах, так как при этом может очень резко проявиться эффект барельефного изображения (см. разд. 5.1.1). Тем не менее этот метод до сих пор не нашел практического применения.

6.1.3. Цветное проявление с обращением

Другой возможностью применения выделения оптических плотностей цветом является маркировка относительно узкого интервала оптических плотностей без потери полного информационного содержания изображения. Этот метод следует применять специально для очень контрастных черно-белых копий, полученных с оригинала, который необходимо дешифровать. Эти черно-белые копии обычно уже имеют интервал плотностей наилучшего воспроизведения деталей, однако части изображения, приходящиеся на область передержек характеристической кривой (см. фиг. 4), можно дешифровать с трудом или вообще нельзя дешифровать. Информация, содержащаяся в изображении, практически теряется за счет интервала, в котором лучше воспроизводятся детали. В этом случае имеет преимущество цветное проявление, так как цвета достаточно прозрачны даже на участках большой плотности и дают достаточный контраст.

Особенно благоприятной оказалась комбинация первичного цветного проявления и проявления с обращением в другие цвета. При этом позитив и негатив обрабатываются в одном слое (фиг. 59, 2).

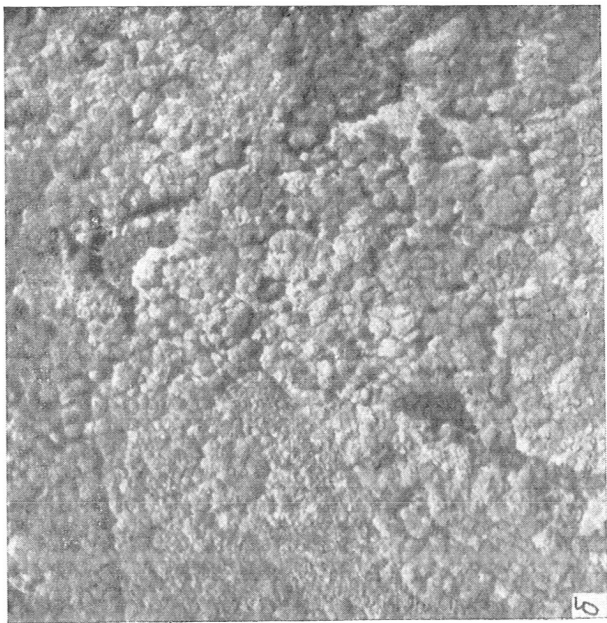
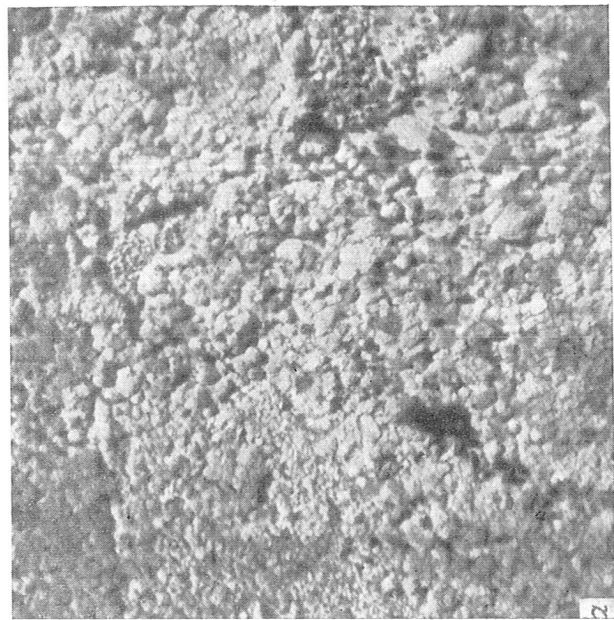


Фото 4. Оригинальные снимки для выделения оптических плотностей цветом.



Фото 5. То же, что и на фото 4, с выделением оптических плотностей цветом.

Осуществляя этот способ, сначала при первичном цветном проявлении проявляют в одном цвете часть негативного изображения. Для достижения необходимой резкости остальную часть негативного изображения проявляют полностью в черно-белом проявителе. Однако после этого изображение не фиксируют, а снова экспонируют яркой лампой. После засветки оставшийся галогенид серебра приобретает способность к вторичному проявлению. Наконец, все серебро отбеливается и удаляется в процессе фиксирования.

Наиболее целесообразной при этом оказалась комбинация желтого цвета для первого проявления и пурпурного для проявления с обращением. Наглядный пример применения этого метода приведен на фото 6.

6.1.4. Практические указания

В качестве исходного материала можно использовать любую черно-белую пленку, имеющую достаточные контрастность и содержание серебра. Для выделения оптических плотностей копии цветом в слое рекомендуется фототехническая пленка (например, ORWO FU-5, $\gamma=5$), которую проявляют вначале в энергично работающем метолгидрохиноновом проявителе. Следует обратить внимание на то, чтобы изображение было полностью проявлено и отфиксировано и не имело оптической вуали. При использовании рентгеновской пленки, обладающей повышенной склонностью к вуалированию, в первичный проявитель следует ввести антивуалирующее вещество (0,05 г/л нитробензимидазола или бензотриазола).

*Методика выделения оптических плотностей
зеленым—красно-бурым цветом в слое*

<i>Материал</i>	Фототехническая пленка ORWO FU-5 ($\gamma=5$)	
<i>Длительность</i>	~ 45 мин	
<i>Обработка</i>	На свету	
Бромирование		3 мин
Промывка		5 мин
Цветное проявление с образованием зеленого изображения, 20°C . .	3—4	мин
Промывка	3—5	мин
Цветное проявление с образованием красного изображения, 20 °C . .	7—10	мин



Фото 6. Рентгеновский снимок с выделением оптических плотностей цветом.

Промывка	5 мин
Отбелка	3 мин
Промывка	5 мин
Фиксирование	2 мин
Окончательная промывка	5 мин

*Примеры использования метода
выделения оптических плотностей цветом*

а. Материал	Инфракрасная пленка
Исходный фотослой	Черно-белый позитив, хорошо проявленный, отфиксированный и промытый (диапозитив- ная пленка)
Обработка	На свету
Бромирование	2—3 мин
Промывка	5 мин
Обработка	На свету
Желтое цветное про- явление	3—4 мин
Цветное проявление с образованием синего изображения	5 мин
Промывка	5 мин
Бромирование	2 мин
Промывка	5 мин
Фиксирование	2 мин
Промывка	10 мин
б. Материал	Пленка Aerorapid, сня- тая со светофильтром RG 2 (Шотт)
Исходный фотослой	Копия на пленке ORWO FU-5, отфикси- рованная и промытая, как в п. а
Обработка	На свету
Бромирование	2—3 мин
Промывка	5—10 мин
Желтое цветное непол- ное проявление	3 мин
Душевая промывка	
Цветное проявление с образованием красно- го изображения (жел- тая компонента+пур- пурная компонента 1:1)	5—6 мин
Промывка	5 мин
Бромирование	2 мин

Промывка	5 мин
Фиксирование	2 мин
Промывка	10 мин

*Методика цветного проявления с желто-пурпурным
обращением*

Здесь важно определить правильную экспозицию при печати для соответствующей зоны почернений; при этом одновременно нужно проявлять несколько экспозиционных проб. Для копии с «вялых» изображений рекомендуется обязательная предварительная обработка негативов путем усиления тонированием (см. разд. 3.1).

<i>Материал</i>	Фототехническая пленка ORWO FU-5 или рент- геновская пленка
<i>Обработка</i>	В темноте
Печать негатива (пер- вая экспозиция) с раз- личными выдержками	
Желтое цветное про- явление, 20°C	3—4 мин
Душевая промывка . . .	
Черно-белое быстрое проявление	5—10 мин
Промывка	5 мин
<i>Дальнейшая обработка</i>	На свету
Второе экспонирование про- явленной и еще мокрой копии (люминесцентные лампы 100 Вт или лампы накаливания 500 Вт, рас- стояние 75 см)	5 мин
Пурпурное цветное прояв- ление, 20°C	5 мин
Промывка	5 мин
Отбелка	3—5 мин
Промывка	5 мин
Фиксирование	3—5 мин
Окончательная промыв- ка	5—10 мин

Цветные проявители в закрытом бачке можно хранить 2—3 дня; при кюветном проявлении (из-за того, что большая поверхность раствора подвержена действию кисло-рода воздуха) их хранят не больше одного дня.

Проявитель восстанавливается при добавлении проявляющего вещества (сульфата диэтилпарафенилендиамина) и цветной компоненты.

Указанная длительность работы относится к кюветному проявлению при ручном перемешивании. Появляющиеся известковые пятна можно удалить путем более продолжительного фиксирования или размачивания в растворах, содержащих водосмягчающие вещества. Кальциевая сетка более эффективно удаляется при слабом протирании пленки в воде влажным куском ваты. При выделении оптических плотностей цветом необходимо соблюдать те же условия работы, что и при усилении тонированием.

При рассматривании или визуальном дешифрировании цветных изображений особое внимание следует уделять правильным условиям освещения. Свет должен быть достаточно ярким и, насколько это возможно, чисто белым. Вместо одного источника света целесообразно использовать несколько люминесцентных ламп, которые можно включать по одной для достижения необходимой яркости (Канкельвитц, Теш и Бёк [79]).

Обрамление цветных изображений черным материалом (бумагой) дает лучшую «бриллиантность» цветного изображения. Применяемая пленка не должна иметь собственной окраски (окрашенную основу), так как иначе будет нарушена чистота тона.

6.1.5. Состав растворов

Бролирующий раствор

Феррицианид калия (красная кровяная соль, $K_3[Fe(CN)_6]$)	250 г
Бромистый калий (KBr)	12 г
Сульфат натрия (Na_2SO_4)	50 г
Вода	1000 мл

Цветной проявитель

Раствор А

Сульфат диэтилпарафенилендиамина ($(C_2H_5)_2NC_6H_4NH_2$)	
· H_2O	1,1 г
Вода	100 мл

Б*

Р а с т в о р Б

Сульфит натрия (Na_2SO_3)	10 г
Бромистый калий (KBr)	10 г
Карбонат калия (K_2CO_3)	500 г
Водосмягчитель	20 г
Вода	900 мл

Все количества указаны в пересчете на безводные вещества.

Цветные компоненты

Желтый цветной проявитель . .	0,75 г бензоилацетанилида в 20 мл диоксана
Пурпурный цветной проявитель .	0,90 г 1-фенил-3-метил-5- пиразолона в 40 мл эти- лового спирта
Цветной проявитель, образующий синее изображение	0,76 г α -нафтола в 10 мл диоксана

Состав цветных смесей, получаемых из цветообразующих
компонент

Цветной проявитель, образующий зеленое изображение	1—2 мл синей компоненты и 16 мл желтой компо- ненты
Цветной проявитель, образующий красное изображение	8 мл желтой компоненты и 24 мл пурпурной компо- ненты

Растворы А и Б сливают незадолго до использования, затем добавляют необходимую цветообразующую компоненту или цветную смесь в указанном количестве.

6.2. Эквиденситы

Носитель информации фотограммы — оптическая плотность — задается двумерными координатами $P(x, y)$. Следовательно, оптическая плотность в фотограмме является функцией координат

$$D = f(x, y),$$

и для полного изображения хода характеристической кривой необходима трехмерная модель. Однако, если все точки определены при $D = \text{const}$ и соединены между собой, размерность изображения можно уменьшить на единицу. Проекция точек на поверхность $P(x, y)$ дает специфическое изображение хода характеристической кривой

в двумерной системе координат. Кривые $D = \text{const}$ соответствуют горизонталям на географической карте

$$D = f(x, y) = \text{const.}$$

Задавая заранее различные значения $D = \text{const}$, получаем семейство кривых, представляющее собой «каркас» хода характеристической кривой. Чем меньше интервал ΔD , тем более полным будет описание. То, что кривые $D = \text{const}$ расположены перпендикулярно градиенту плотности, вытекает из условия ортогональности

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = 0 \quad \text{для} \quad D = f(x, y) = \text{const.}$$

Чем меньше число кривых $D = \text{const}$, тем большее количество первоначальной информации, содержащейся в изображении, будет теряться.

На практике оказывается, что конечное число кривых $D = \text{const}$ достаточно полно описывает ход характеристической кривой, причем расстояние между отдельными кривыми является мерой среднего градиента плотности. Таким путем достигается необходимое для практики рациональное уменьшение числа значений, описывающих объект (двумерная теорема Найквиста, сокращение информации).

Кривые $D = f(x, y) = \text{const}$ фотограммы Круг и Лау [96] называли *эквиденситами* (эквиденсита — это геометрическое место всех точек одинаковой плотности на фотограмме).

Практическое измерение эквиденситы очень утомительно, если нужно фотометрировать фотограмму полностью и по точкам с целью выделения точек с одинаковыми значениями оптической плотности. В связи с этим эквиденситы изображения таким путем трансформируются очень редко. Трансформация эквиденсит как вид двумерной фотометрии необходима для решения многих проблем, так как она позволяет произвести вышеупомянутое сокращение числа значений, описывающих объект. Вначале были созданы электронные схемы (изофотометры, изоденситометры и др.), работающие автоматически (см. разд. 6.2.5). Поскольку электронное измерение оптических плотностей в принципе можно осуществлять

только одномерно, в основу этих установок положена построочная развертка фотограммы. Выбор точек с одинаковой заданной оптической плотностью производится электронными переключающими элементами; эквиденсит либо экспонируется на фотослой, либо делается видимой на телевизионном экране, либо вычерчивается чертежным инструментом. Подобная установка довольно дорогая, поэтому эквиденситометрия в таком виде не нашла широкого применения.

Только тогда, когда для изготовления эквиденсит был использован простой фотографический принцип — эффект Сабатье, трансформация эквиденсит проникла во все области науки и техники (Круг и Лау [96, 97], Круг [91], Лау и Круг [118, 127], Хёгнер и Рихтер [69, 71])¹.

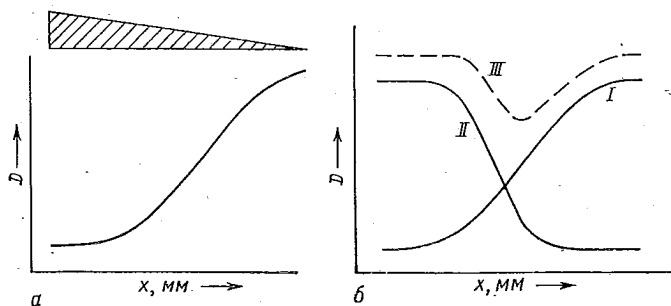
6.2.1. Фотографические основы

Самой простой формой плоскости распределения оптических плотностей фотограммы является серый клин, где имеется одномерное распределение плотности. Не ограничиваясь рассмотрением общего случая проблемы нахождения эквиденсит на плоскости оптических плотностей, в самом простом виде ее можно исследовать на сером клине. В этом случае фотографическое решение проблемы в противоположность электронному способу будет двумерным.

Поскольку наложение почернения происходит в соответствии с характеристической кривой фотослоя, пространственное распределение плотностей серого клина по-

¹ Дальнейшее развитие этот метод получил прежде всего в работах И. И. Брейдо с сотрудниками. Особый интерес представляет новый метод получения изофот, позволяющий ограничиться в ряде случаев эквиденситами первой ступени, получать изображения на рулонной пленке и значительно упростить монтирование систем эквиденсит. При этом одновременно облегчаются градуировка системы эквиденсит и перевод ее в семейство изофот (см. Брейдо, Виленская [37*]; см. также дополнительную литературу по эквиденситометрии в приложении). Имеются указания на то, что для получения эквиденсит в процессе проявления можно обойтись без промежуточного экспонирования (см. Миз-Джеймс, Теория фотографического процесса, перев. с англ., «Химия», 1973, стр. 174). — *Прим. ред.*

добно этой кривой (фиг. 60, а). Маркирование точек на этой кривой будет соответствовать на клине линии, представляющей собой эквиденситу самой простой формы. Такую маркировку можно осуществить, если использована нелинейность характеристической кривой. На практике характеристическую кривую *I* комбинируют с ее копией *II*; при определенных условиях рассматривание



Фиг. 60. Эквиденсита на клине плотностей.

а — пространственное распределение плотностей; б — эквиденсита.

такой комбинации на просвет дает эквиденситу *III* (фиг. 60, б).

Для осуществления такой комбинации пригодны различные способы:

- а) простое наложение;
- б) получение негатива и позитива в одном слое с помощью эффекта Сабатье;
- в) использование специального позитивного материала с двумя эмульсионными компонентами (Agfa-Contour).

6.2.2. Эквиденситы, полученные с использованием эффекта Сабатье

6.2.2.1. Эффект Сабатье

В противоположность трудному методу комбинации позитив — негатив с двумя слоями эффект Сабатье позволяет очень рационально и точно трансформировать эквиденситы. Эффект Сабатье — это фотографический эффект обращения. Он возникает за счет того, что после неполного проявления фотоснимка и вторичной засветки рас-

сеянным светом проводится полное проявление. При этом образуется дополнительное позитивное изображение.

В обработанном таким образом слое имеются обе компоненты (негатив после неполного проявления и его позитивное изображение за счет эффекта Сабатье после второго проявления). Оптические плотности обоих изображений дают равнодействующую типа кривой III на фиг. 60.

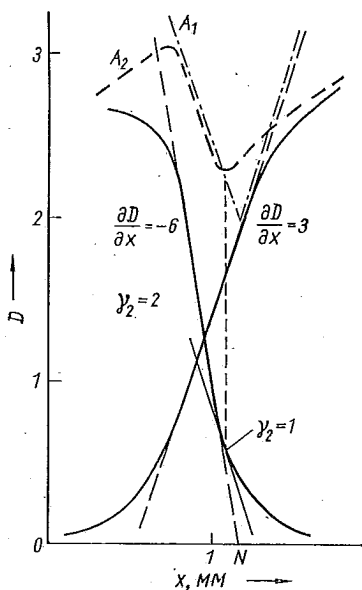
Не вдаваясь в подробности теорий эффекта Сабатье (Аренс [7]), следует все же кратко описать простейшие эффекты, которые имеют решающее значение для появления эффекта Сабатье и которые важны для трансформации эквиденсит. Копировальный эффект состоит в том, что серебро, образующееся при первом проявлении, защищает от второго экспонирования находящийся под ним еще не проявленный галогенид серебра. При этом первичный негатив впечатывается в тот же фотослой. Химический эффект происходит благодаря тому, что при первичном проявлении на экспонированных местах расходится проявитель и образуются продукты его окисления. Оба фактора на местах первичного проявления тормозят вторичное проявление и поэтому ускоряют образование позитивного изображения. Диффузия продуктов, тормозящих проявление, может в значительной степени усилить эффект Сабатье, однако при этом не должны теряться мелкие детали.

По мнению Аренса, в этом случае при первичном экспонировании образуются преимущественно внутренние центры скрытого изображения. При полном проявлении эти центры не влияют на процесс проявления, так как при вторичной засветке рассеянным светом в еще не экспонированных зернах галогенида серебра образуются преимущественно поверхностные центры скрытого изображения. В зернах, которые уже были предварительно экспонированы, внутренние центры скрытого изображения захватывают «электроны, образующиеся при повторной засветке». Таким образом, поверхностные центры скрытого изображения дополнительно не образуются. Поскольку работают с поверхностными проявителями, то предварительно экспонированные зерна оказываются десенсибилизированными для вторичного экспонирования.

6.2.2.2. Характеристика эквиденсит

Ниже более подробно рассмотрена комбинация негатива и позитива в одном слое, полученная на основе метода Сабатье. Кривые плотностей схематически представлены на фиг. 61, где по оси абсцисс отложено расстояние x и по оси ординат — плотность D . В идеальном случае, т. е. при линейной характеристической кривой, логарифмический подъем интенсивности передается линейным градиентом $\partial D/\partial x$.

Например, из подъема интенсивности и коэффициента контрастности негатива γ_1 позитивного материала при идеальных условиях получается линейный градиент плотности $\partial D/\partial x = 3$. С другой стороны, контраст позитива, возникающего при эффекте Сабатье, будет составлять $\gamma_2 = 2$ (контраст Сабатье). В качестве позитива градиента плотности $\partial D/\partial x = 3$ получается градиент негатива $\partial D/\partial x = -6$. Сумма обеих составляющих дает область снижения оптической плотности эквиденситы — седловину (кривая A_1). Самая нижняя точка седловины соответствует N , где имеет место разрыв кривой градиентов (нелинейность). Из графика следует, что для $\gamma_2 = 2\gamma$ в идеальном случае можно было бы получить симметричную эквиденситу.



Фиг. 61. Эквиденситы, полученные с использованием эффекта Сабатье.

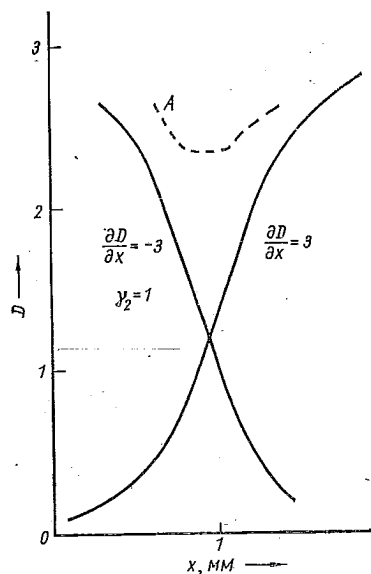
Однако градиенты в действительности не являются линейными, а в соответствии с формой характеристиче-

ской кривой изогнуты за пределами рабочего диапазона. Действительная эквиденсита A_2 образуется за счет этого изгиба (нелинейности), который обуславливает изменение величины γ позитива

Сабатье от $\gamma_2=2$ до $\gamma_2=0$.

При сложении истинных кривых однозначно получается, что самая нижняя точка седловины эквиденситы A_2 находится над точкой градиента позитива, где контраст Сабатье $\gamma_2=1$. Резкая эквиденсита получается только в том случае, если максимальный контраст Сабатье $\gamma_2>1$. Для выполнения этого условия при трансформации эквиденсит, полученных с использованием эффекта Сабатье, с самого начала необходимо работать с высококонтрастным материалом ($\gamma\geq 5$).

На фиг. 62 показана трансформация эквиденсит для случая, когда мак-



Фиг. 62. Эквиденсита с контрастом Сабатье $\gamma_2=1$.

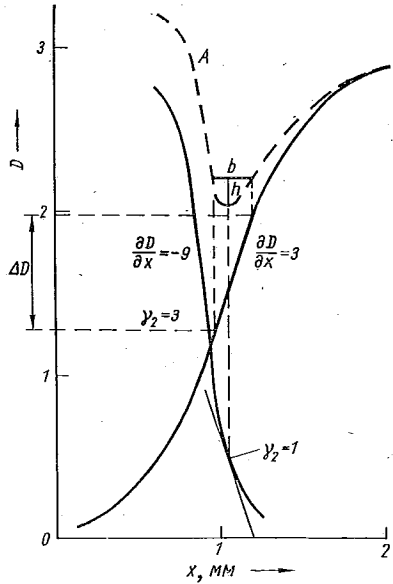
симальный контраст эквиденсит, полученных с использованием эффекта Сабатье, $\gamma_2=1$. Вместо эквиденситы здесь образуется широкая площадка на седловине, что ведет к сглаживанию всех деталей в этой области. Поэтому для практической трансформации эквиденсит рекомендуется работать с высококонтрастными материалами или перед получением эквиденсит следует изготовить дополнительную контрастную копию.

На фиг. 63 иллюстрируется практический случай трансформации эквиденсит, полученных с использованием эффекта Сабатье, с контрастом $\gamma=3$. Эквиденсита A опять имеет резко выраженный изгиб в седловине. Даже

при таком контрасте эквиденсита еще симметрична в окрестности точки изгиба, представляющей интерес. Эквиденсита, полученная с использованием эффекта Сабатье, обычно не дешифрируется в оригинале, так как она располагается в нем на участках с большими плотностями и поэтому завуалирована. В связи с этим для дешифрирования почти всегда используется копия.

Если для копии берется материал с $\gamma=1$ на линейном участке характеристической кривой, то в зависимости от величины экспозиции место изгиба седловины может быть передано черной линией различной ширины на светлом фоне. При этом профиль линий соответствует форме седловины; h характеризует высоту профиля линий. Ширина эквиденситы b связана с величиной экспозиции на копии через h , а с градиентом $\partial D/\partial x$ — через форму эквиденситы. Проекция b на градиент даст интервал оптических плотностей эквиденситы, которая зависит только от интенсивности света при печати и поэтому для одинаковых условий копирования является постоянной. Отсюда следует, что градиент можно вывести из ширины эквиденситы b .

Таким образом, реальная фотографическая эквиденсита — это не строго геометрическое место всех точек одинаковой оптической плотности, а место всех точек одинакового интервала плотностей — широты оптических плотностей. Несмотря на ширину эквиденситы, не следует ожидать потери в точности измерения по сравнению с



Ф и г. 63. Эквиденсита с контрастом Сабатье $\gamma_2=3$.

идеальной эквиденситой, так как дано хорошее определение ограничений с двух сторон, довольно точно представляющих определяемые значения плотности.

Вместо дицифрирования ограничений эквиденситы по ней можно сделать другие эквиденситы — так называемые эквиденситы более высокого порядка, которые располагаются по краям первоначального профиля эквиденсит. Таким путем даже гарантируется точность измерений.

В заключение можно отметить, что реальная фотографическая эквиденсита обеспечивает большую информацию о содержании изображения, чем идеальная эквиденсита. Дешифрирование ограничений дает две квазиидеальные эквиденситы, а следовательно, и пространственные градиенты. В еще большей степени это касается дешифрирования эквиденсит более высокого порядка. Этим объясняется очень важное свойство сокращения количества данных, описывающих снимок, если дешифрирование проводится с помощью эквиденсит.

6.2.2.3. Практическая трансформация эквиденсит

а. Эквиденситы, полученные с использованием эффекта Сабатье. Для получения эквиденситы всегда необходимо несколько процессов печати. Поскольку трансформация эквиденситы представляет собой прежде всего высокочувствительный метод измерений, для получения оптимальных и воспроизводимых результатов в основном следует применять копии, отпечатанные контактным методом. Очень высокая разрешающая способность (ширина линий) фотографических эквиденсит даже без увеличения допускает фотометрию мельчайших деталей.

Точность измерений в этом случае значительно возрастает вследствие того, что можно очень сильно уменьшить влияние дефектов, возникающих при печати с оптическим увеличением (например, образования ореолов, аберраций, неравномерного освещения поля изображения и др.) на копии, отпечатанной контактным методом. В связи с этим к копирующему аппарату также предъявляются определенные требования. Лучше всего подходят копирующие аппараты контактной печати, применяемые в ре-

прографии со стабилизатором напряжения, равномерным освещением поля печати и вакуумной прижимной рамкой. Разумеется, при предъявлении меньших требований к точности измерения можно использовать любой другой копировальный аппарат.

Кольца Ньютона, часто образующиеся при печати, можно легко убрать, если между негативом и стеклянной пластинкой копировального аппарата поместить стеклянную пластинку, мелко матированную с двух сторон, или матовую пленку.

Как указано в начале раздела об эквиденситах, полученных с использованием эффекта Сабатье, в качестве позитивного материала особенно хорошо подходит контрастная фотопленка с большим слоем серебра. Для получения крупноформатных эквиденсит следует применять фотопленки на малоусадочной полиэфирной основе. Кроме того, из описанного выше частного эффекта Сабатье получается, что копировальный и десенсибилизирующий эффекты являются определяющими для получения эквиденсит, в то время как в химическом эффекте диффузия неблагоприятно влияет на точность измерений, и поэтому его нужно подавлять¹. Отсюда следует, что в технике получения эквиденсит при засветке рассеянным светом в случае эффекта Сабатье для достижения копировального эффекта нужно экспонировать со стороны эмульсионного слоя. Однако для того, чтобы возник десенсибилизирующий эффект, следует использовать поверхностный прояви-

¹ В методе химической трансформации эквиденсит, предложенном Гертом и Готтвейсом [47], специально получают химический эффект и используют его для получения эквиденсит. Это происходит за счет применения химических усилителей (например, уранилнитрата), в результате чего на характеристической кривой происходит резкий подъем оптических плотностей, который на копии фотографии дает химическую эквиденситу. Благодаря дальнейшей химической обработке (раствор CuSO_4 и NaCl) небольшое повышение оптических плотностей переходит в резкий скачок оптических плотностей, который при копии на пленке ORWO FU-5 дает четкую эквиденситу. Разрешающая способность из-за химического эффекта и связанного с этим диффузионного распространения эквиденсит уступает разрешающей способности эквиденсит, полученных с использованием эффекта Сабатье и поэтому рекомендуется только для изогелии (разд. 6.5) и фотометрии крупных деталей (разд. 6.4).

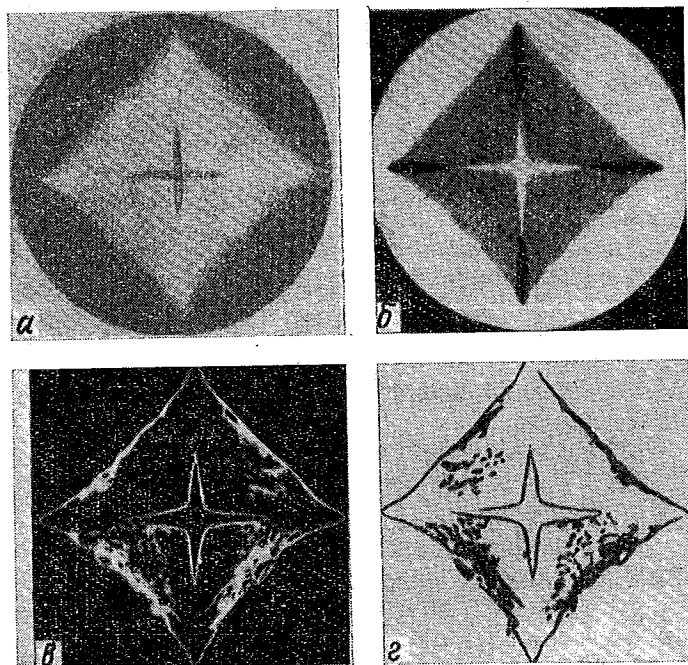
тель. Десенсибилизацию можно исключить, если после первичного проявления произвести основательную промежуточную промывку. Сделав несколько экспозиционных проб, можно определить длительность проявления для комбинации пленка — проявитель, если она неизвестна заранее.

Практически эквиденситу можно получить следующим образом. Негатив или полученную с него контрастную копию экспонируют на позитивный материал ($\gamma=5$) контактным методом. При этом подбирается такая экспозиция, чтобы все слабые или вообще прозрачные места негатива или копии на позитивном материале давали достаточно большие плотности, если их неполностью проявляют при заранее определенной длительности проявления (первичное проявление).

Для устранения химического эффекта проводят основательную промежуточную промывку в проточной воде в течение 1—4 мин в зависимости от температуры воды.

После промежуточной промывки копию подвергают засветке рассеянным светом со стороны эмульсионного слоя. Для этого пленку помещают в темную кювету с гладким дном (во избежание отражения), заполненную на несколько сантиметров водой. Если для проявителя применяют кюветы с рифленным дном, то на дно нужно ровно положить темную поливинилхлоридную пленку толщиной ~ 1 мм. В качестве источника рассеянного света можно использовать матовую лампу накаливания, расположенную на расстоянии не менее 1 м над кюветой, или соответствующий потолочный светильник. Экспонирование можно производить только после того, как успокоится поверхность воды. Экспозиция должна быть такой, чтобы после вторичного проявления в условиях первичного проявления энергично проявились все участки изображения, которые до тех пор оставались непроявленными. Следует добиваться того, чтобы первичное экспонирование и засветка рассеянным светом давали на копии приблизительно одинаковое почернение. Обе плотности можно хорошо различить с обратной стороны пленки, так как в отличие от черного цвета первичного проявления изображение после вторичного проявления имеет коричневатый цвет.

После вторичного проявления копию слегка ополаскивают водой, фиксируют, промывают и сушат. Впрочем, следует подходить осторожно к кажущемуся полному почернению копии, так как эквиденситы часто настолько



Фиг. 64. Путь получения эквиденситы с использованием эффекта Сабатье.

a — оригинал; *b* — контрастная копия *a*; *v* — эквиденсита, полученная с использованием эффекта Сабатье; *z* — копия *v*.

тонки, что их можно увидеть через лупу только при рассмотрении на просвет перед яркой лампой накаливания. Полученные таким путем копии печатают, как обычно, контактным методом на контрастном позитивном материале, получая при этом черные линии на светлом фоне — известные эквиденситы (фиг. 64).

Рабочие указания

Освещение лаборатории
Светофильтр

Светло-зеленое
113 D, ORWO

1. Изготовление копии негатива контактным методом (если необходимо, изготовить контрастную копию с нее) на пленке ORWO FU-5.

2. Первичное проявление в проявителе ORWO MH-28, разбавленном водой 1 : 1, в течение 1—3 мин.

3. Промежуточная промывка в проточной воде в течение 1—4 мин в зависимости от температуры воды.

4. Засветка рассеянным светом; матовая лампа накаливания 100 Вт; расстояние 1 м до кюветы с водой; экспозиция приблизительно 5 с.

5. Вторичное проявление в проявителе ORWO MH-28, разбавленном водой 1 : 1, в течение 1—3 мин.

6. Ополаскивание водой, фиксирование в течение 1 мин, затем промывка и сушка.

7. Изготовление копии контактным методом на пленке ORWO FU-5 или на другом позитивном материале, например диапозитивной пленке (ORWO DF-1).

В хорошо оборудованных лабораториях при соответствующем навыке эквиденситу можно получить приблизительно за 7—8 мин.

6. Семейства эквиденсит. Технология изготовления регулируемых семейств эквиденсит тщательно разработана Хёгнером [66, 67]. Если поставлена задача дешифровать содержание фотограммы или ее части с помощью каркаса эквиденсит, нужно владеть технологией изготовления регулируемых семейств эквиденсит. При этом, если нужно измерить и дешифровать общий интервал плотностей фотограммы, следует начинать с первичного негатива. В настоящее время ни один другой метод даже приблизительно не достиг замечательного преимущества фотографической эквиденситометрии — уложить эквиденситы на отпечатанной контактным методом копии в самых высоких оптических плотностях, которые могут быть в фотографическом слое. Это преимущество можно реализовать только в том случае, если исходить из первичного негатива.

Основной принцип техники эквиденсит состоит в изготовлении с первичного негатива контрастных промежуточных копий с дифференцированной при печати экспозицией. Градация проводится таким образом, чтобы все величины плотности оригинала попадали на линейный участок характеристической кривой промежуточной копии. Затем путем повторной печати со всех промежуточных копий одновременно получают эквиденситу Сабатье. Поэтому положение отдельных эквиденсит зависит только от экспозиции при печати промежуточной копии, и его можно регулировать, изменяя экспозицию. Ниже приведен пример получения эквиденсит на отдельных стадиях.

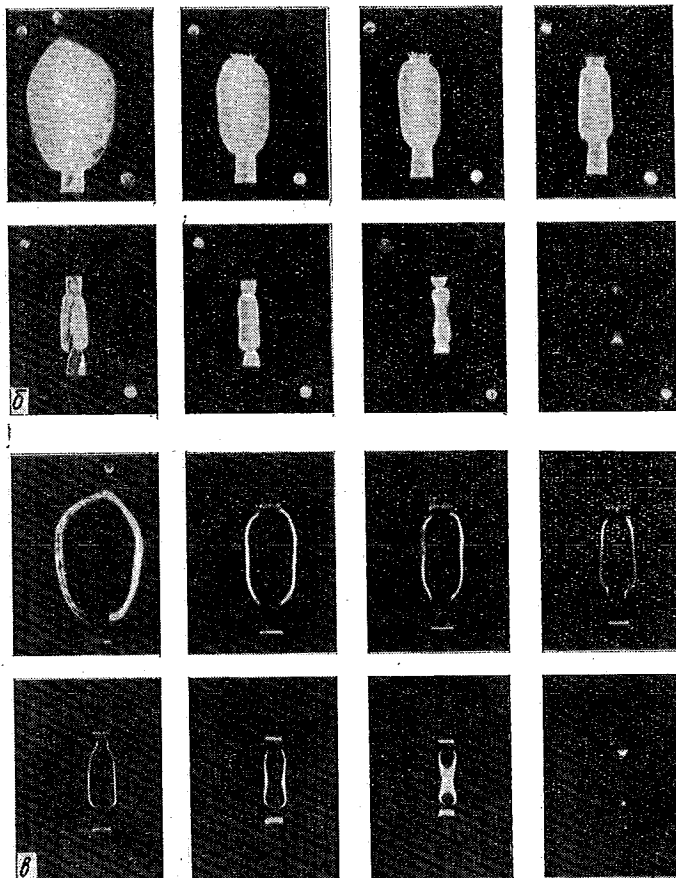
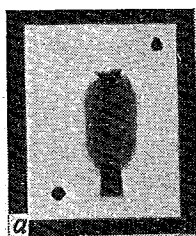
Изготовление промежуточных копий. На обратную сторону хорошо очищенного первичного негатива наносят две не слишком маленькие точки красной краски или черной туши, которые будут служить контрольными метками для последующего монтажа эквиденсит. Изображение на негативе ограничивают шаблоном из черной бумаги, черной поливинилхлоридной пленки или алюминиевой фольги (фиг. 65, а). Негатив и шаблон закрепляют на матовом стекле или матовой пленке и на копировальном аппарате так, чтобы они не проскальзывали. Даже эквиденситы, образующиеся по краю границы, дадут превосходные контрольные метки для монтажа.

С этого выреза изготавливают последовательно промежуточные копии с увеличением экспозиции на пленке ORWO FU-5, которая соответственно отодвигается.

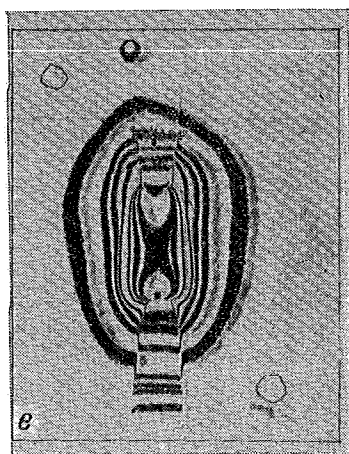
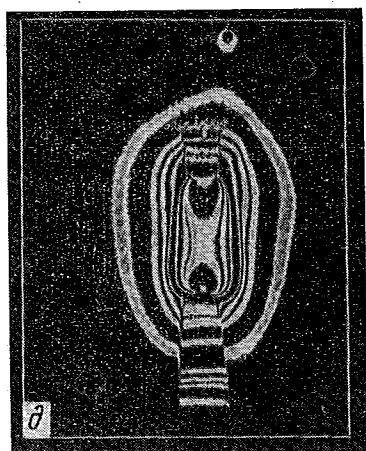
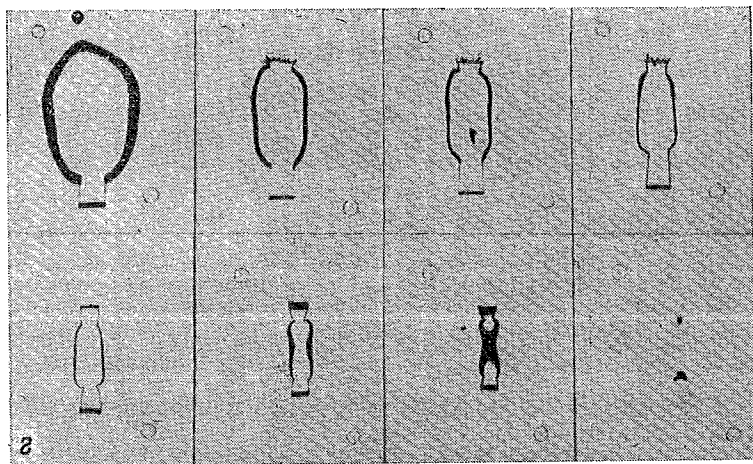
Экспозиция первой копии, зависящая от вуали негатива, определяется по пробам. Если эта экспозиция t_1 известна, то экспозицию для интервала плотностей ΔD последующей эквиденситы рассчитывают по формуле

$$t_2 = t_1 \cdot 10^{\Delta D}.$$

При эквидистантном интервале плотностей экспозиция всегда увеличивается одинаково. Для структурного анализа информации, содержащейся в изображении, с помощью семейств эквиденсит объемным значением градации для высоких плотностей негатива оказался фактор 2, в то время как при меньших плотностях нужно выбирать



Ф и г. 65. Получение семейств экви
a — подготовленный негатив; *б* — промежуточные копии; *в* — оригинальные



денсит (снимок угольной дуги).

эквиденситы; *z* — копии оригинальных эквиденсит; *d* — монтаж; *e* — семейство эквиденсит.

более узкий интервал в соответствии с характеристической кривой.

На фиг. 65, б представлены полученные таким образом промежуточные копии. При изготовлении промежуточных копий можно отпечатать также серый клин для калибровки, если его нет на негативе с самого начала.

Изготовление эквиденсит. С изготовленных промежуточных копий делают эквиденситы Сабатье за один прогон по методу, описанному в разд. 6.2.2.3, а. При этом полезно раз и навсегда установить оптимальные параметры обработки для данного сочетания аппарата и материала, сделав контрольные эквиденситы.

Эквиденситы, полученные с промежуточных копий, представлены на фиг. 65, в. Однако эти эквиденситы трудно дешифровать и монтировать в виде более или менее вуалированных светлых линий на темном фоне. Поэтому их снова печатают на пленке ORWO FU-5 (фиг. 65, г). Можно взять также другую позитивную пленку, например диапозитивную, преимущество которой состоит в большей светочувствительности, что благоприятно сказывается при печати тонких слабых линий. Экспозицию для этой копии следует выбирать такой, чтобы самая тонкая эквиденсита передавалась хорошо зачерненной. От этой экспозиции зависит ширина линий, а следовательно, и ширина почернения эквиденсит. Поэтому на скопированных копиях, которые делаются одна за другой, она должна оставаться постоянной. Для очень слабых линий существует еще возможность уменьшения их общей плотности на первоначальной эквиденсите ослабителем, понижающим контраст, например ORWO 700.

Монтаж семейства эквиденсит. Отдельные эквиденситы можно объединить в семейства, копируя эквиденситы на отпечаток (Брейдо и Чеботарева [17], Брейдо и Ермошина [18]) или монтируя отдельные эквиденситы. Более точная методика монтажа обеспечивается наложением эквиденсит, причём эквиденситы точек и краев границ дают контрольные метки. Слабо смоченные края пленок можно легко склеить после того, как они отъюстированы монтажной лупой. Фильмпаки, имеющие покровное стекло, можно отпечатать через увеличитель с небольшой диафрагмой объектива (фиг. 65, д). Затем с этого нега-

тива могут быть изготовлены необходимые эквиденситограммы (фиг. 65, е).

Описанная здесь технология составляет основу изготовления эквиденситограмм, которую можно соответственно изменять в зависимости от целей применения.

Рабочие указания

1. Чистка негатива, нанесение контрольных меток и шаблона, монтаж на копировальном аппарате.

2. Изготовление промежуточных копий на пленке ORWO FU-5 с соответствующим ступенчатым рядом экспозиций.

3. Изготовление эквиденситы Сабатье за один прогон со всех промежуточных копий в соответствии с разд. 6.2.2.3, а.

4. Контратипирование копии на пленке ORWO FU-5.

5. Монтаж и размножение.

Материалы и рецепты

Фотоматериал

Контрастная пленка с большим содержанием серебра (например, ORWO FU-5, Ilford № 60), желательно на малоусадочной основе (полиэфирная)

Освещение

Светло-зеленое (светофильтр 113D, ORWO)

Проявитель

ORWO MH-28, разбавленный водой 1:1, или ORWO-75

Лимонная кислота	5 г
Гидрохинон	25 г
Сульфит натрия безводный	40 г
Фосфат калия	110 г
Бромистый калий	3 г
Дистиллированная вода до объема	1000 мл

Свежеприготовленный проявитель должен стоять день перед употреблением. (Можно использовать также другие контрастно работающие поверхностные проявители.)

Матовая пленка. Ее можно сделать просто из пленок с матированной обратной стороной. Неэкспонированные пленки фиксируют, хорошо промывают и после обработ-

ки смачивателем сушат. Как и вообще при изготовлении эквиденсит, с этими пленками следует работать в перчатках для обеспечения максимальной чистоты.

6.2.2.4. Области применения

Возможности применения эквиденсит Сабатье вытекают из примера, на котором в предыдущем разделе было объяснено их изготовление.

Хёгнер и Рихтер применили эквиденситометрию для изучения внегалактических объектов [69], солнечной короны [70], шаровых скоплений [72] и комет [73] и предложили новые пути решения астрофизических проблем. Изофотометрия комет, которая играет значительную роль при исследовании строения этих удивительных небесных тел, может быть реализована только с помощью эквиденситометрии (фото 7).

Важной областью применения является дешифрирование интерферограмм с помощью эквиденсит (разд. 6.2.4.2), так как при двухлучевой интерференции получается приблизительно такая же точность измерений, как и при многолучевой интерференции (Круг [89—91]). Здесь каждая полоса интерференции трансформируется в две узкие эквиденситы, и таким образом дешифрируется ее тонкая структура.

В литературе можно найти примеры других областей применения, например в электронной микроскопии, спектроскопии, фотометрии, радиологии, дозиметрии, химии и др. (Лау и Круг [127], Зейдель и Армфт [172], Виалли и Цанотти [183], Раков и Цапф [157]).

Очень общее применение эквиденситометрии описали Крёбер и Герт [87, 88] и Герт [46]. Они исходят из того, что многочисленные процессы в природе и технике протекают в таком виде, что измеряемая (или регулируемая) величина колеблется аperiodично вокруг среднего значения. Сведение этих колебаний в таблицы и их последующая статистическая обработка требуют много времени. Авторы предлагают следующее решение.

Измеряемая физическая величина переносится пропорционально на параллельное смещение щели, которая

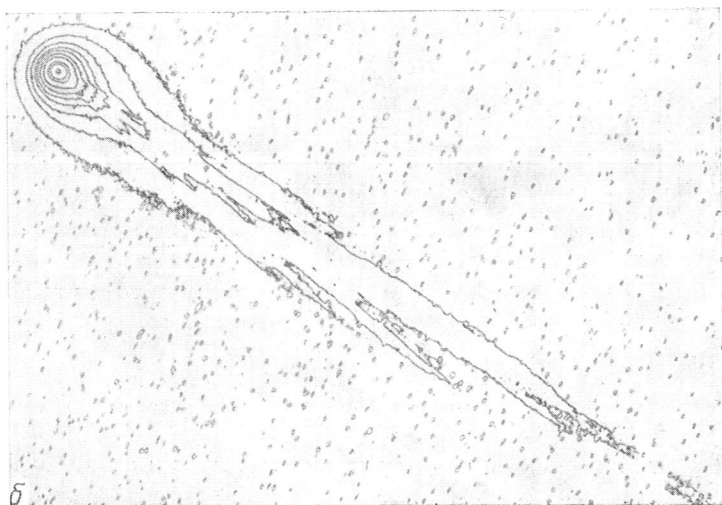
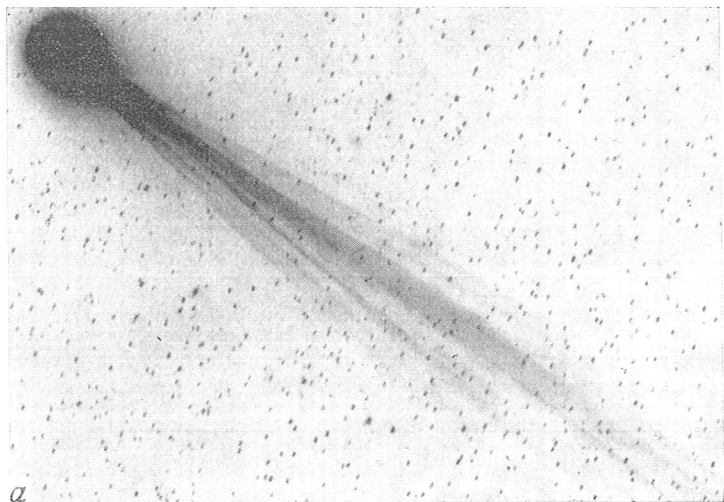
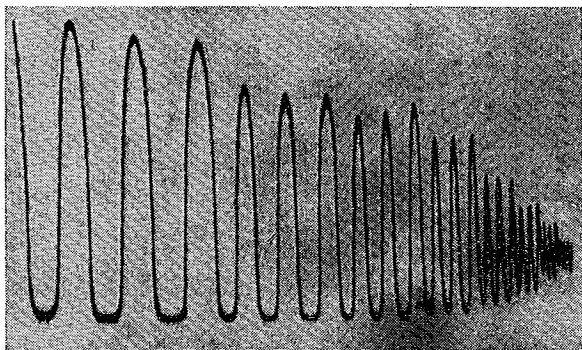


Фото 7. Снимок кометы.
 а — оригинал; б — семейство эквиденсит.

постоянно освещается и образует оптическое изображение на фотослое (Мельхер и Герт [146]). Различные положения изображения щели суммируются и запоминаются слоем. Между щелью и фотопластинкой помещается непрерывный нейтрально серый клин, градиент плотности которого лежит в направлении щели. Через определенный промежуток времени измерения на фотослое экспонируется поверхность, форма которой дает необходимую информацию о статистическом распределении измеряемой физической величины. Статистическое распределение получают из формы поверхности фотограммы, эквиденсита которой имеет форму квадратной параболы. Путем трансформации эквиденсит получают картину функции рассеяния в простом логарифмическом представлении. Положение вершины параболы дает сведения о среднем значении, а ее параметры — о среднем колебании статистического гауссова распределения. На аналогичном принципе основан метод регистрации интенсивности света во времени, предложенный Гертом [44]. Вместо механического движения щели можно с успехом применить осциллограф, на который измеряемый сигнал подается таким образом, что на экране возникает светящийся штрих, движущийся вдоль оси x в соответствии с колебанием измеряемой величины. Градиент клина здесь тоже должен проходить параллельно штриху.

Другим примером применения эквиденситометрии может служить простое получение функции передачи модуляции. Так, для получения функции передачи модуляции объектива без специальной измерительной аппаратуры с непрерывного прямоугольного растра (например, с частотой 0,5—7 линия/мм) с помощью увеличителя получают особо контрастные промежуточные копии, которые экспонируются через нейтрально серый клин с линейным распределением плотностей, расположенный непосредственно на позитивном материале. Если на промежуточной копии соединить точки одинаковой оптической плотности, то непосредственно получится ход характеристической кривой на растровом изображении. Таким образом с высококонтрастных промежуточных копий делают фотографические эквиденситы. Они имеют вид синусоиды в логарифмическом представлении, амплитуды ко-



Ф и г. 66. Функция передачи модуляции оптической системы (по Меркеру).

торой уменьшаются с увеличением частоты. Амплитуды находятся в непосредственной связи, указанной в формуле, с контрастом на соответствующей пространственной частоте.

Меркер [143] использовал указанный выше метод для определения функции передачи модуляции оптической системы. Здесь было использовано восемь групп штрихов (по три штриха в каждой) с пространственными частотами 6, 9, 13, 20, 30, 45, 67 и 100 линия/мм, что соответствует форме кривой, показанной на фиг. 66. Уменьшение амплитуд эквиденситы Δy соответствует падению коэффициента передачи модуляции M :

$$M = \frac{10^{a\Delta y} - 1}{10^{a\Delta y} + 1},$$

если a — постоянная крутизна серого клина. Следовательно, M можно получить, непосредственно измерив амплитуду y (см. также работу Блумовой и Полашека [13]).

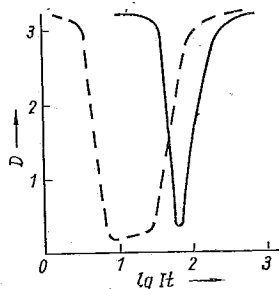
6.2.3. Фото пленка для эквиденситометрии

Для получения эквиденсит за один рабочий процесс был разработан новый позитивный материал, имеющийся в продаже под названием Agfa-Contour — фото пленка для эквиденситометрии черно-белая.

Подробности об этом материале, устраняющем определенные технологические недостатки, возникающие при использовании эффекта Сабатье (разд. 5.2.1) или при комбинации негатив — позитив, впервые сообщил Ранц [159]. Для этой цели используется специальный однослойный материал из смеси двух эмульсий, у которого наряду с позитивной характеристической кривой одновременно образуется негативная характеристическая кривая с расположенной между ними седловиной. Применяя различную оптическую сенсibilизацию обеих составляющих, с помощью светофильтра можно изменять ширину седловины (фиг. 67). Контрастность негативной составляющей регулируется частью эмульсии с ортохроматической сенсibilизацией, контрастность позитивной составляющей — синечувствительной частью эмульсии. Благодаря этому можно уменьшить ширину седловины при экспонировании за желтым светофильтром. При рассмотрении на просвет или на копии, сделанной на позитивном материале, седловина дает эквиденситу; ее ширину можно по желанию регулировать с помощью светофильтра соответствующей плотности.

Во избежание получения неправильных результатов фотопленку для эквиденситометрии следует обрабатывать по инструкции в рекомендуемом специальном проявителе Contour. Перед фиксированием, чтобы предотвратить образование желтой вуали, обязательно проводят стоп-ванну длительностью 30 с в 2%-ной уксусной кислоте.

Если пленка экспонирована правильно, то позитивное почернение при рассматривании его со стороны эмульсионного слоя имеет нейтральный черный цвет, а негативное — коричнево-черный цвет изображения.



Фиг. 67. Характеристическая кривая фотопленки Agfa-Contour для эквиденситометрии.

--- без светофильтра;
— с желтым светофильтром.

При повторной печати на пленке Agfa-Contour можно получить эквиденситы более высокого порядка, вплоть до предела разрешения, составляющего (по данным фирмы) 40 линия/мм. Поскольку пленка полита на полиэфирную основу, усадка будет минимальной.

На фото 7, а снята комета, на фото 7, б приведены эквиденситы, полученные на пленке Agfa-Contour (см. также работы Ранца [159, 160]).

6.2.4. Специальные методы

6.2.4.1. Изображение семейств эквиденсит

При изображении семейств эквиденсит могут возникнуть трудности в определении порядка, если эквиденситы расположены очень плотно или имеются различные замкнутые системы. Эти трудности можно устранить, например, с помощью цветных эквиденсит или стереоэквиденсит.

Цветные эквиденситы получают довольно просто, проявляя хромогенно в различные цвета отдельные копии эквиденсит перед монтажом по рецептам, указанным в разд. 6.1. Пример, приведенный на фото 8, показывает преимущество этого метода.

Без особых трудностей можно получить также семейства цветных эквиденсит, если они необходимы для печати. С черно-белых прозрачных эквиденсит делают отдельные печатные матрицы, которые дают затем цветные эквиденситы, если их печатать одну за другой в разных цветах.

Другой возможностью получения цветных эквиденсит является печать на цветной фотобумаге с последующим цветным проявлением. При этом несколько отдельных эквиденсит экспонируют за различными цветными светофильтрами одну за другой на ту же цветную фотобумагу. Однако это требует много времени и определенного навыка, причем результат имеет скорее художественный, чем технический характер (фото 10).

По мнению Герта [45], стереоэквиденситы дают возможность наглядного объяснения рельефа почернения

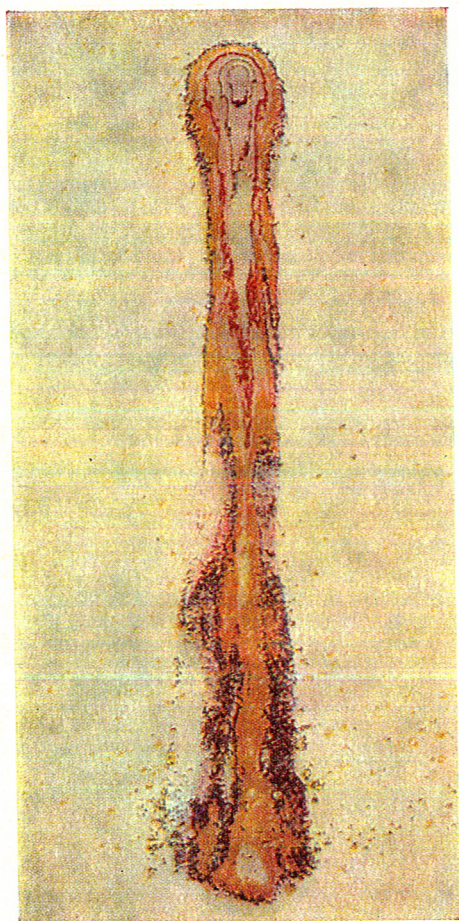


Фото 8. Семейство цветных эквиденсит.



Фото 9. Репродукция гравюры на меди, изогелия — эквиденсита (В. Байер, Дрезден).

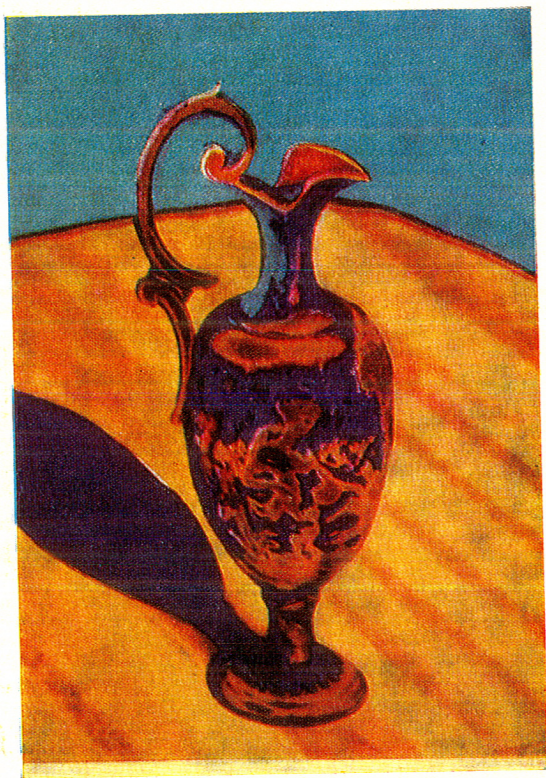
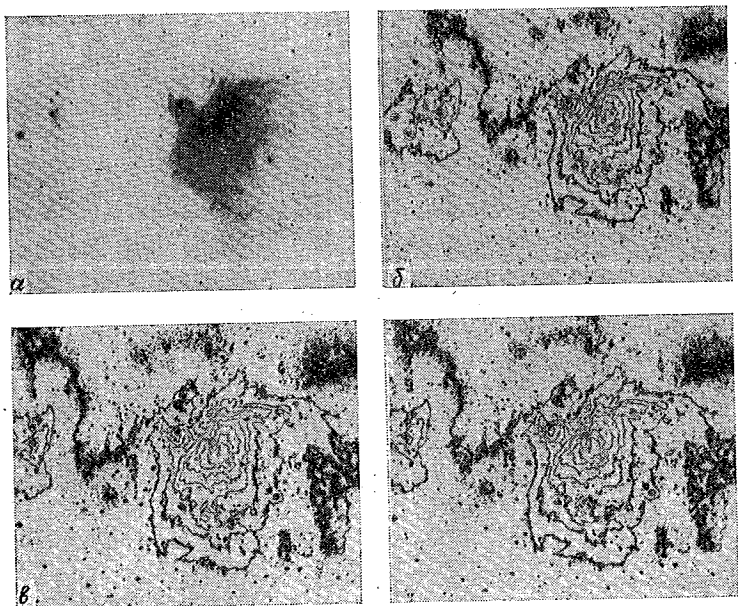


Фото 10. Цветовая комбинация, полученная



с использованием эквиденсит (Ранц, Леверкузен).

фотограммы. Если эквиденситы используются в качестве структурных элементов стереоизображения, то из-за индивидуальной формы эквиденсит совпадение и слияние обычно однозначны даже для неискушенного наблюдателя.



Ф и г. 68. Получение стереоэквиденситограммы.

a — оригинальный снимок (созвездие Ориона); *б* — эквиденситограмма; *в* — стереомонтаж.

Для получения стереоизображения необходимы два элементарных изображения, которые при соответствующем способе рассмотрения (левым глазом — левое изображение, правым — правое) даже без просмотрового прибора сливаются в одно изображение. Таким образом, для стереоэквиденсит используют две эквиденситограммы одного и того же изображения; отдельные копии эквиденсит одного элементарного изображения смещаются

вдоль пропорционально соответствующему почернению. На фиг. 68, *а* — *в* приводится пример получения стерео-эквиденситограммы.

6.2.4.2. Совмещенные эквиденситы

При пологих градиентах эквиденситы расширяются и в предельном случае могут превратиться в разорванные изображения, которые затрудняют дешифрирование в этих местах или делают его вообще сомнительным. В этих случаях ширина почернения эквиденситы при учете ее высокой разрешающей способности оказывается меньше, чем флуктуация почернения (разд. 2.4). Вследствие этого получение эквиденсит более высокого порядка также не дает никакого выигрыша, поскольку они соответствуют статистическим колебаниям зернистости и в предельном случае даже могут окаймлять отдельные скопления зерен. Однако за счет увеличения измеряемой поверхности Q в соответствии с формулой (1) можно уменьшить разброс плотности σ (разд. 2.4).

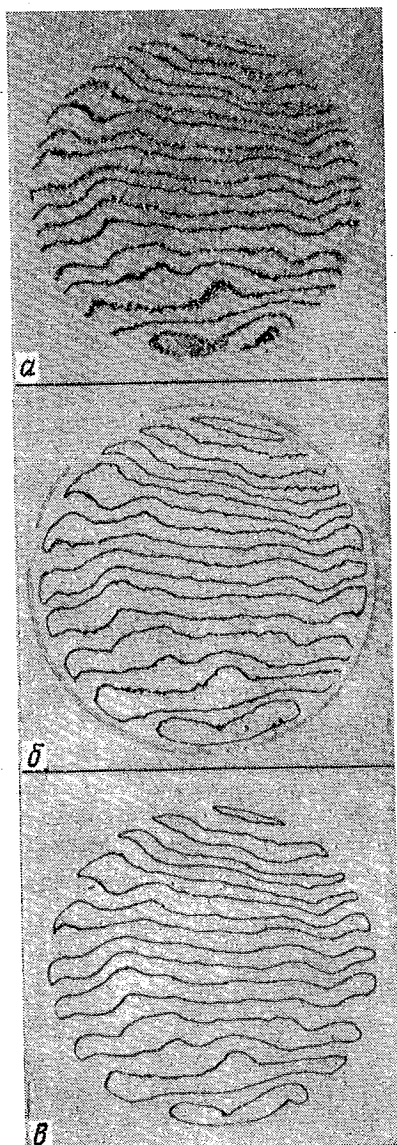
В фотографической фотометрии, как известно, поступают следующим образом: шире открывают щель фотометра или диафрагму и усредняют (интегрируют) результат по более крупным элементам поверхности. Как считает Хёгнер [67], в эквиденситометрии можно использовать аналогичный метод. С дешифрируемой фотограммы перед трансформацией эквиденсит экспонируют промежуточные копии через одну или несколько матированных пленок. За счет возникающей при этом нерезкости уменьшается разрешение; а колебания плотности интегрируются; следовательно, самые высокие частоты фотограммы (статистическая пульсация) обрезаются. Частоты, представляющие интерес, эквиденситометрическое дешифрирование которых затруднено флуктуацией почернения, лежат ниже частоты шума. Двумерная интеграция при нерезкой печати соответствует эффекту увеличения измеряемой плоскости в одномерной фотометрии.

Величина флуктуации почернения для своего выравнивания (интеграции) требует соответствующих величин измеряемой плоскости, т. е. определенной степени нерезкости, которую можно регулировать, меняя число прокладок из матированных пленок.

В качестве примера можно привести эквиденситограмму сильно увеличенного интерференционного снимка (проверка плоскости) на фиг. 69. Эквиденситы на фиг. 69, *а* получены обычным путем, в то время как совмещенные эквиденситы, показанные на фиг. 69, *б* и *в*, были получены с тремя или пятью прокладками из матированных пленок на промежуточной копии. Выравнивание зернистости заметно повышает точность измерений. Благодаря двумерному принципу трансформации эквиденсит это преимущество по сравнению с увеличением измеряемой поверхности становится полностью эффективным в одномерной фотометрии. Точность дифференцирования оптических плотностей совмещенных эквиденсит сохраняется, и ее можно полностью использовать за счет описанной двумерной интеграции на промежуточной копии (Рихтер [162], Хёгнер [68]).

Фиг. 69. Совмещенные эквиденситы.

а — обычная промежуточная копия; *б* — промежуточная копия с тремя матированными пленками; *в* — промежуточная копия с пятью матированными пленками.



6.2.4.3. Электронная фотометрия

Для абсолютного фотометрирования с помощью фотографических эквиденсит необходима их калибровка по интенсивности объектов. В принципе это можно осуществить с помощью характеристической кривой фотоматериала и съемки клина сравнения. Но здесь появляются трудности, связанные с приведением цветовой температуры копируемого света в соответствие с эффективной экспозицией. Постоянная обработка фотометрического клина также сопряжена с трудностями.

Идеальное решение — электронная фотометрия. При этом перед съемкой и после нее с одной оптикой налагается одномерный электронный фотометрический разрез объекта. Такое измерение не занимает много времени и относительно легко абсолютно калибруется. Точки пересечения семейства эквиденсит, полученных с фотограммы, с электронным разрезом допускают их абсолютную калибровку. Поскольку разрез в общем случае дважды пересекает отдельные эквиденситы одного объекта, одновременно проверяется точность измерений.

6.2.5. Электронные методы

Двумерная фотометрия уже стала неотъемлемой частью методик научных измерений, но как «фотометрия точка за точкой» оказалась слишком трудной и занимающей много времени. Поэтому, прежде чем стала известна эквиденситометрия, на базе успехов электронных методов измерения вскоре были разработаны электронные изофотометры и аналогичная измерительная аппаратура. Эти методы работают исключительно с строчной разверткой фотограммы и с ее разверткой по точкам, а также с автоматической трансформацией фотограммы в эквиденситограмму. Таким образом, сначала они работают одномерно благодаря развертке по точкам в разрезах, строчки которых складываются в двумерное изображение.

Первыми стали известны электронные эквиденситографы Круга и Лау [96], а также Фаулера, Джонсона и Биллингса [37]. Согласно общей теории электронной эквиденситометрии (Круг и Шуста [99]), появились, например,

электронный эквиденситограф (Лау и Круг [118, стр. 110]) и денситограф Джойса — Лёбла (Миллер, Парсонс и Корфски [148]). Эти приборы автоматически трансформируют негатив в эквиденситограмму, причем их особенностью является геометрическая достоверность, т. е. оригинал и трансформированное изображение соответствуют друг другу геометрически точно¹.

Другие методы, позволяющие видеть трансформируемое изображение на трубке Брауна и фотографировать его, благодаря высокой производительности применимы в основном для изобразительной трансформации. Обработка результатов измерений из-за невоспроизводимой геометрии электронно-лучевых трубок сопряжена с большими трудностями.

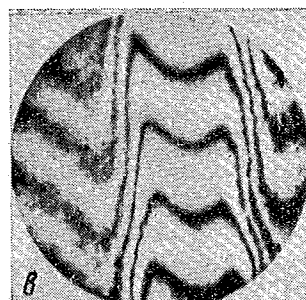
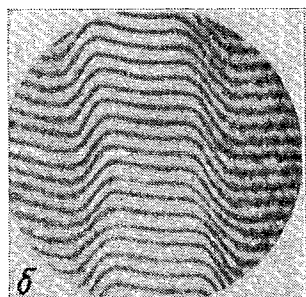
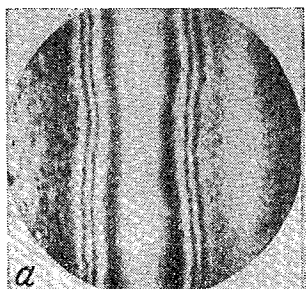
6.3. Метод рельефа почернения

Почернение фотопластинки зависит от количества восстановленного серебра. Следовательно, измеряя количество серебра на данном участке, можно определить значения почернения на этом участке. В противоположность измерению почернения через прозрачность (фотометрическое измерение почернения) такой метод дает значительное преимущество при высоких плотностях ($D > 2$), при которых слои становятся непрозрачными.

В принципе имеются различные возможности измерения проявленного серебра электрическими или электронными методами, основанными на изменении емкости, индукции или электрического сопротивления, вызванном серебром, но эти методы требуют больших затрат. Самым простым является чисто оптический метод, с помощью которого делается видимым рельеф проявленного серебра пластинки, который можно непосредственно измерить. Такой метод, получивший название «метод рельефа почернения», был предложен Лау и Кругом [118] (см. также работу Лау, Кинда и Руса [119]).

¹ Описан фотоэлектрический прибор повышенной точности [29*]. Он позволяет получить очень быстро всю систему эквиденсит с диапазоном измеряемой оптической плотности 0—2,2. Размер исследуемой фотопленки и максимальный размер эквиденситы 24×36 мм. — *Прим. ред.*

6.3.1. Фотопластинка как рельеф почернения



Фиг. 70. Рельеф почернения делительного штриха.

a — горизонтальный разрез; *б* и *в* — косой разрез.

Проявленная полностью пластинка имеет не только разное пропускание, но и рельеф разной высоты, образующийся в соответствии с распределением наложенной на слой интенсивности света. Участки слоя с почернением выступают над прозрачными его участками слоя не более чем на 1 мкм. Рельеф проявленного металлического серебра можно очень хорошо видеть и измерять в интерференционном микроскопе¹. Поясним это на примере. На фиг. 70, *a* показано микроинтерференционное изображение делительного штриха объектомикрометра. Сам черный штрих имеет ширину 280 мкм и в негативе прозрачен; по обе стороны от него виден рельеф почернения, имеющий более высокий уровень. В соответствии с этим штрих — это канавка. Интерференционные полосы соединяют участки одинаковой высоты и, следовательно, в какой-то степени аналогичны горизонталям географической карты. Но горизонтالي одинаковых количеств серебра — это одновременно кривые одинако-

¹ Интерференционный микроскоп — это комбинация микроскопа и интерферометра, которую можно реализовать по-разному (Круг, Рениц и Шульц [98]). При работе с интерференционным микроскопом в микродиапазоне применяются такие же методы, как, например, при интерферометрическом исследовании оптических поверхностей.

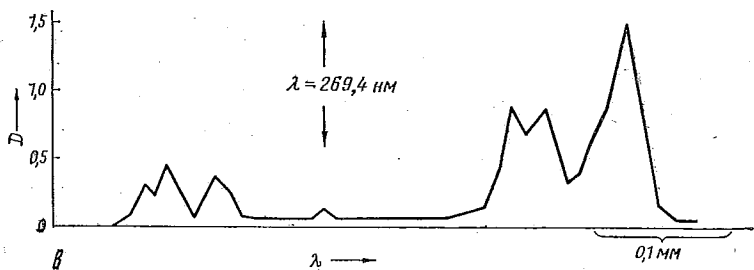
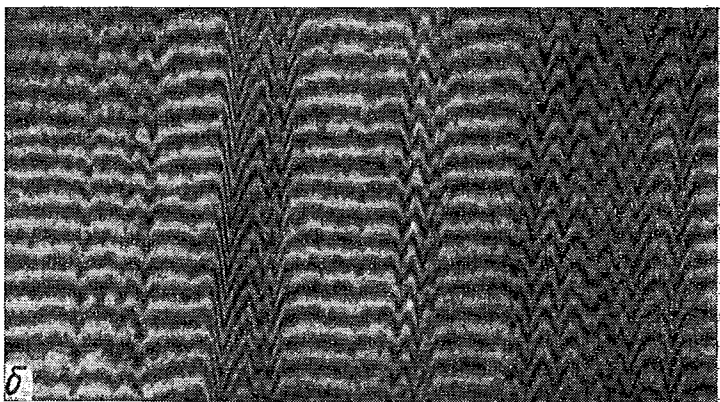
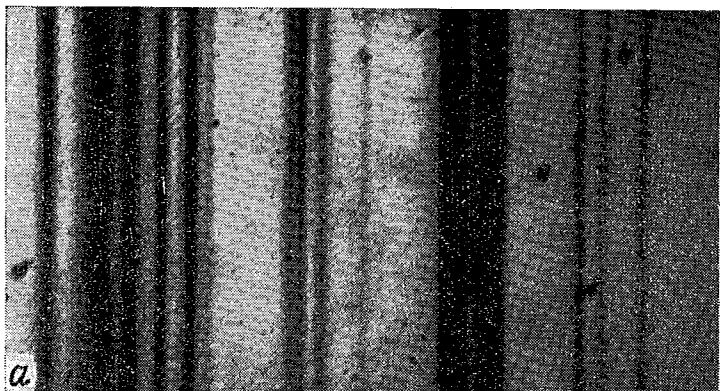
вой оптической плотности, т. е. эквиденситы. Микроинтерференционное изображение представляет собой эквиденситную трансформацию фотограммы, причем одновременно получается несколько эквиденсит (семейство эквиденсит). Особое преимущество метода состоит в том, что его можно применять также в области экстремальных плотностей.

6.3.2. Одно- и двумерные проблемы

Фиг. 70, *а* представляет собой так называемый горизонтальный разрез, или *интерференционный контраст*; здесь поверхность объекта и контрольная плоскость расположены (мнимо) параллельно. Если интерференционный микроскоп отъюстирован таким образом, что обе плоскости наклонены под некоторым углом друг к другу, то с того же объекта могут быть сделаны снимки 70, *б* и *в* (так называемые косые разрезы). Полученные таким образом семейства кривых — это эквиденситы в направлении профиля разреза.

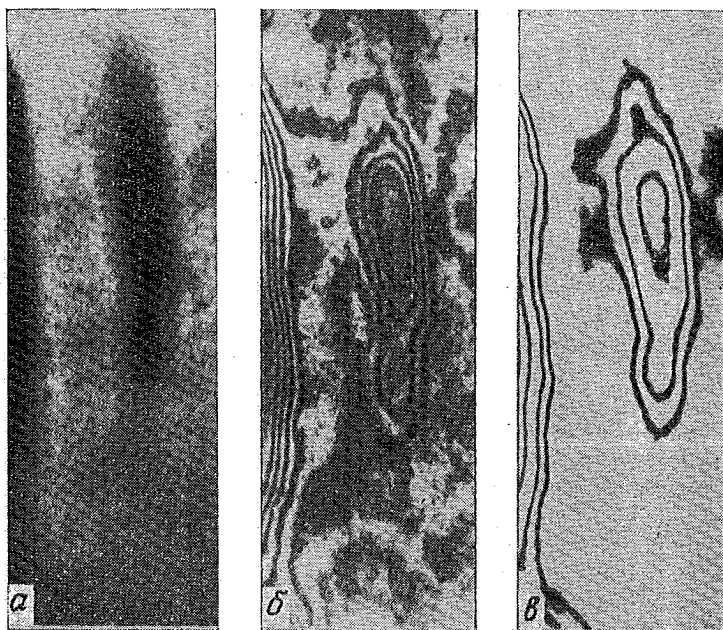
Следовательно, метод рельефа почернения применим для двух различных проблем. При использовании хорошо отъюстированного интерференционного микроскопа с небольшим увеличением (приблизительно в 10—15 раз) косой разрез дает фотометрические кривые (семейства) для одномерных фотометрических измерений (например, для спектрофотометрии). Наоборот, горизонтальный разрез дает семейства эквиденсит для двумерных фотометрических измерений (например, для анализа изображения).

В качестве примера одномерной фотометрии может служить фиг. 71. На фиг. 71, *а* показана небольшая часть спектра железа, а на фиг. 71, *б* — микроинтерференционное изображение, полученное при косом разрезе. Интерференционные линии соответствуют семейству эквиденсит. Фиг. 71, *в* — это запись распределения почернения в средней части снимка, полученная на быстродействующем фотометре Цейсса. Здесь кривая по форме точно соответствует кривым интерференции. Шмидт и Энгельбрехт [171] с успехом применили этот метод для классификации спектров звезд (см. также работу Ходама [65]).



Ф и г. 71. Спектрофотометрирование с использованием рельефа почернения.

a — часть спектра железа; b — кривые рельефа почернения; v — микрофотометрическая запись.



Фиг. 72. Пример анализа изображения с использованием рельефа почернений.

а — микрофотография хромосомы; *б* — эквиденситы с рельефом почернений снимка *а*; *в* — эквиденситы снимка *а*, полученные с использованием эффекта Сабатье.

В качестве примера двумерного анализа изображения на фиг. 72, *а* приведен снимок биологического объекта (хромосомы). Интерференционный микроскоп в горизонтальном разрезе дает семейство эквиденсит (фиг. 72, *б*). Поскольку прилегающие полосы имеют одинаковую разность высот (половина длины волны $\lambda/2$ применяемого монохроматического света), им соответствует разность оптических плотностей ΔD , равная 0,6—1,0 в зависимости от зернистости фотослоя. Для сравнения на фиг. 72, *в* приведено семейство эквиденсит Сабатье того же объекта. Разумеется, эквиденситы были получены в несколько стадий.

6.3.3. Практические указания

В качестве возможного недостатка этого метода следует назвать желатиновый эффект, или явление Росса (Ангерер и Джус [3, стр. 162]), обусловленный деформацией желатины. Этот эффект неодинаков у различных сортов фотопластинок и зависит также от проявителя, продукты окисления которого в той или иной степени дубят желатину на проявленных участках, вследствие чего они высыхают быстрее, чем светлые участки, и поэтому сжимаются. Следовательно, деформация слоя происходит только при сушке фотопластинки. Кроме того, этот эффект в большей степени проявляется на мелкозернистых фотослоях и тем менее заметен, чем мельче передаваемые детали. Как показала практика, пластинки после промывки нужно сушить возможно быстрее. Для этого пластинку после промывки помещают в спиртовой раствор и оставляют в нем до тех пор, пока вода полностью не испарится; затем ее сушат струей горячего воздуха. Во время сушки прозрачные места становятся белыми, а поверхность желатины — довольно шероховатой. Если пластинку промыть еще раз и быстро высушить струей горячего воздуха, то получается неискаженная, гладкая поверхность, пригодная для съемок в интерференционном микроскопе.

6.3.4. Новые исследования

В последние годы метод рельефа почернения стал предметом научных исследований. Так, Альтман [1] установил, что для узких линий (~ 5 мкм) высота рельефного изображения пропорциональна плотности при $D < 2,5$, и тогда $D = 5,9 h$, где h — высота рельефа (в мкм). Если $D > 2,5$ или линии шире, что соответствует более пологому градиенту характеристической кривой, то линейности не наблюдается. Разумеется, здесь речь идет об очень мелкозернистых слоях, для которых отклонения были замечены уже в оригинальных работах.

Кроме того, Ханнес [56] исследовал этим методом фазовую структуру голограмм, впервые получив объяснения

взаимосвязи толщины слоя и показателя преломления.

Смит [174] изучал зависимость рельефа почернения от передаваемой пространственной частоты.

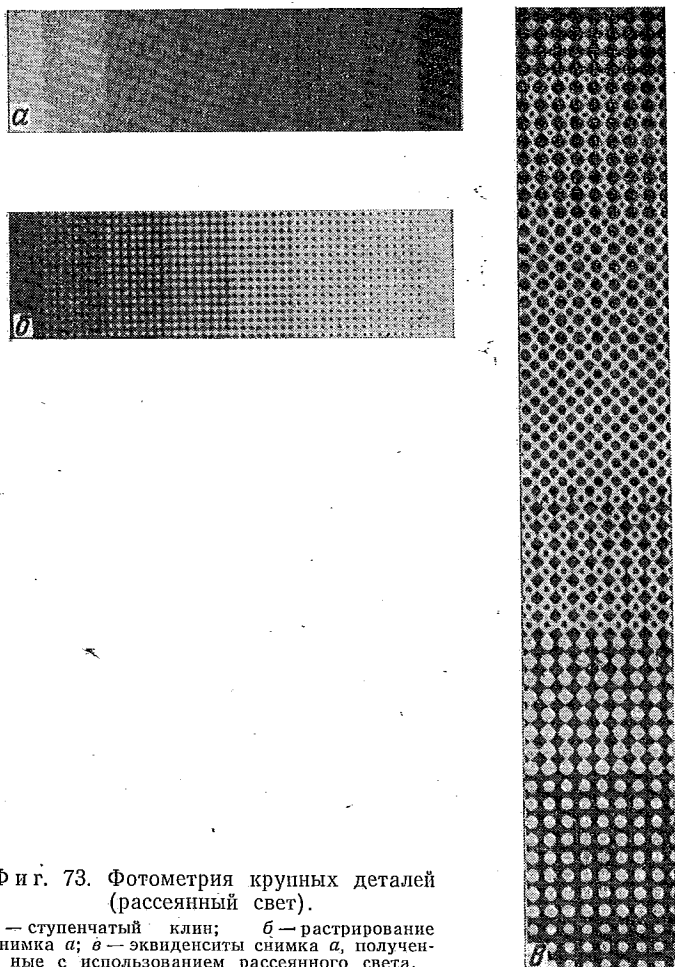
6.4. Фотометрия крупных деталей

Для самых различных областей научных исследований весьма существенно определить фотометрическую величину каждой точки почернения. При такой постановке задачи необходимо полностью оценить информацию, содержащуюся в изображении, с точки зрения измерения информации, а не пространственного разрешения; поэтому здесь под «точкой» понимается относительно большой участок фотослоя.

Метод, разработанный специально для маркировки почернения на крупных деталях, основан на принципе растровой техники, уже давно используемой для полиграфической печати изображений (Лау и Гесс [121], Лау и Круг [127, стр. 30]). Не рассматривая подробно растровую технику, следует лишь отметить, что с ее помощью ступени интенсивности изображения можно превратить в участки различной величины, непосредственно доступные измерению. Как известно, растровый метод можно легко подогнать к интервалу плотностей изображения.

Метод фотометрии крупных деталей с помощью растровых эквиденсит состоит в том, что фотографическое изображение печатают на слой, на который экспонирован один более или менее грубый нерезкий точечный растр. На пленке можно напечатать также негатив через нерезкий крестообразный растр (нерезкий образец с шахматным расположением ячеек). Таким путем получается растровая копия первоначального изображения. Этот способ показан на нейтрально сером ступенчатом клине (фиг. 73, а и б). С растрового изображения получают трансформацию эквиденсит (фиг. 73, в). Рисунок изображения позволяет очень хорошо различить отдельные поля почернения, и его можно измерить количественно по всему изображению.

На практике могут быть реализованы два вида трансформации эквиденсит растрового изображения: эквиден-



Ф и г. 73. Фотометрия крупных деталей (рассеянный свет).

a — ступенчатый клин; *б* — растривание снимка *a*; *в* — эквиденситы снимка *a*, полученные с использованием рассеянного света.

ситы, получаемые в рассеянном свете, и фотографические эквиденситы. Для анализа низких частот, например на рентгеновских снимках, достаточно простого растривания без эквиденсит (Лау, Гесс и Фогель [130]).

6.4.1. Растровые эквиденситы

Здесь используется тот факт, что свет, рассеянный в фотографическом слое, имеет максимум отражения при средних почернениях. При освещении на темном поле участки небольшой оптической плотности кажутся темными, так как на них нет зерен серебра, рассеивающих свет за счет отражения или дифракции. Участки большой оптической плотности также кажутся темными, поскольку скопления зерен серебра пропускают мало света или вообще не пропускают. Самыми светлыми кажутся участки определенной плотности, которые соответствуют эквиденситу, для максимума рассеянного света. Таким образом, если растровое изображение рассматривать в темном поле, то каждая точка растра, которую можно считать нейтрально серым микроклином, на участке определенной оптической плотности будет окружена линией. Так, для отдельных точек растра получаются фигуры разного размера, которые при взаимодействии различных точек растра соединяются в узоры. Отдельные почернения выделяются узором по всему изображению. Одинаковому полю почернения повсюду соответствует одинаковая фигура (например, четырехугольник, кольцо, кольцо с точкой).

На практике поступают следующим образом: растровый негатив равномерно освещают с обратной стороны сбоку, а образующееся изображение эквиденситы фотографируют. Фиг. 73, в была получена таким путем.

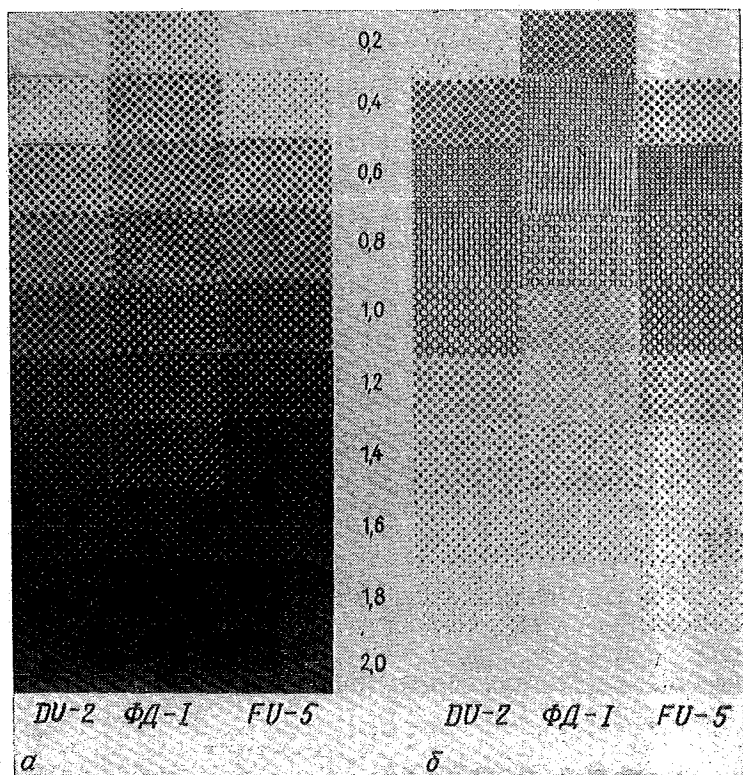
Преимущество эквиденсит, полученных в рассеянном свете, заключается в том, что эквиденсита в любом случае соответствует определенной оптической плотности, что может иметь решающее значение для сравнительных измерений.

Имея растры различного контраста, интервал шкалы освещенности фотометрии крупных деталей можно подогнать к объекту. Растровое изображение накладывают на слой, который нужно проэкспонировать с оригиналом. Если имеется объект с очень небольшим интервалом интенсивностей, то выбирают малоконтрастную растровую ко-

пию и получают удивительно тонкую градацию узоров. Таким путем можно добиться необходимой чувствительности метода.

6.4.2. Фотографические растровые эквиденситы

Самый простой путь получения эквиденситы растровой промежуточной копии — это изготовление эквиденсит

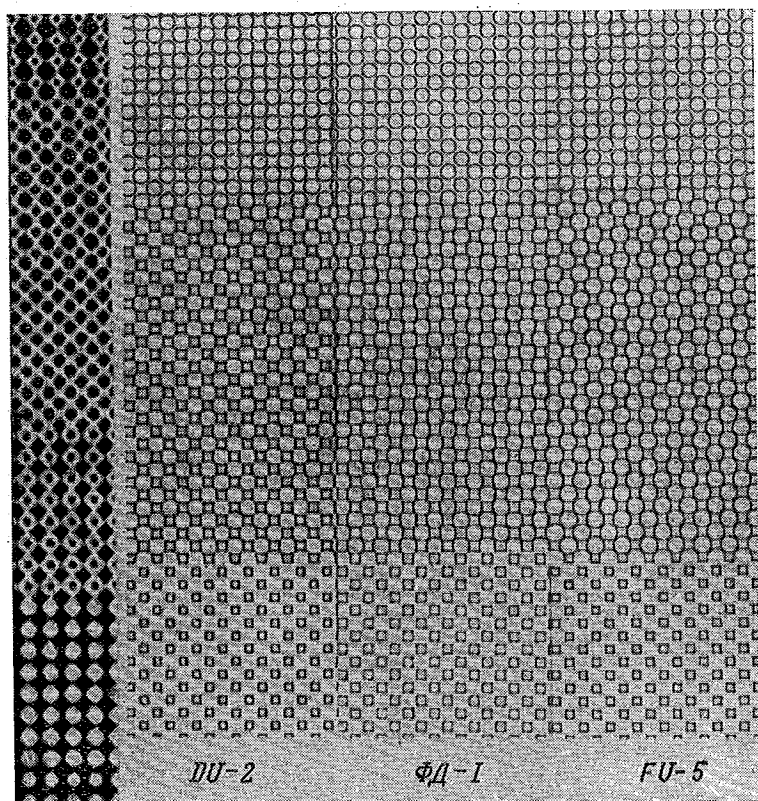


Фиг. 74. Фотометрия крупных деталей (эквиденситы, полученные с использованием эффекта Сабатье).

a — растринированные нейтрально серые клинья; *b* — эквиденситы снимка *a*, полученные с использованием эффекта Сабатье.

с использованием эффекта Сабатье (разд. 6.2.2) или применение пленки для эквиденситометрии (разд. 6.2.3).

На фиг. 74 на различных фотослоях отпечатан нейтрально серый клин с впечатанным растром (фиг. 74, а). Пленка DU-2 — малококонтрастный материал, пленка FU-5 — высококонтрастный. Для сравнения была отпечатана также растровая копия на пропитанной проявителем пленке FU-5, что соответствует первой ступени фильтрации деталей ФД-1 (разд. 5.2.2). Частота растра находи-



Ф и г. 75. Пример чувствительности метода.

лась здесь в интервале усиления, так что можно ожидать хорошего дифференцирования рисунка.

Если эквиденситы Сабатье получают с соответствующих слоев (фиг. 74, б), то слой с фильтрацией деталей ФД-1 оказывается наиболее приемлемым в отношении резкости и интервала почернений.

Фиг. 75 свидетельствует о хорошей резкости и высокой чувствительности метода фотометрии крупных деталей с помощью растровых эквиденсит, полученных с использованием эффекта Сабатье. Здесь воспроизведены три ступени плотности с фиг. 74, б в увеличенном виде. Сравнение с эквиденситами, полученными в рассеянном свете (видны слева с пятью ступенями, т. е. при более слабом увеличении), четко показывает выигрыш в резкости и чувствительности (Вайде [189]).

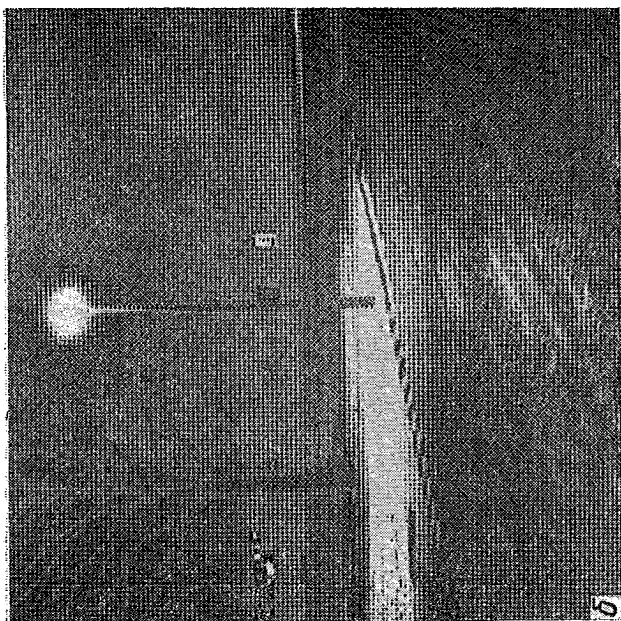
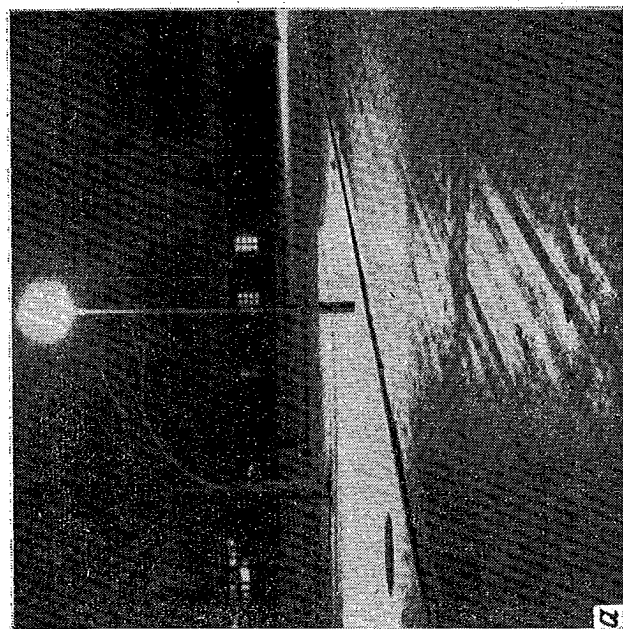
6.4.3. Области применения

Во всех случаях, где каждой точке или по возможности многим точкам изображения полезно придать фотометрическое значение без потери сущности изображения, можно применить методы фотометрии крупных деталей. Это необходимо в осветительной технике (Каллендер [20]) при решении проблем освещения улиц, помещений или рабочих мест и физико-технических проблем, связанных с освещением проекционных экранов, полей зрения в оптической аппаратуре и т. д., а также при дешифрировании аэрофотоснимков.

В качестве примера на фиг. 76 показана улица, освещенная лампами. Здесь поверхности одинаковой яркости имеют очень мелкую градацию, и их можно идентифицировать с помощью эквиденситометрических фигур.

6.5. Изогелия

Метод изогелии разработан Ромером [167]. Основной принцип изогелии состоит в том, что с обычного изображения воспроизводится лишь несколько резко ограниченных интервалов плотностей. Их можно сравнить с эквиденситами, которые имеют очень большую ширину (Грейф [52, 53]). Соответственно выбрав от трех до шести



Ф и г. 76. Фотометрия крупных деталей, уличного освещения.
 а — обычный снимок; б — фотометрия крупных деталей.



Ф и г. 77. Портретная фотография.
 а — оригинал; б и в — сине-желтые копии.



Ф и г. 78. Изогелия (Г. Гесс, Берлин).

таких интервалов плотностей, можно выделить основную информацию, содержащуюся в изображении, по сравнению с многими другими деталями.

Таким образом, как и у эквиденситограммы с семействами эквиденсит, здесь имеет место сокращение информации, содержащейся в изображении, до ее сущности. Это свойство изогелии используется преимущественно в худо-

жественной фотографии (см. гл. 7). Разрешающая способность изображения в различных интервалах плотностей из-за большой допускаемой ширины эквиденсит достигается путем простой контрастной печати. Монтаж отдельных ступеней плотности в готовую изогелию осуществляется так же, как и в семействе эквиденсит (разд. 6.2.2.3).

Практические указания

С контрастного негатива при различных экспозициях изготавливают диапозитивы на высококонтрастной пленке (ORWO FU-5), добиваясь разделения изображения на различные интервалы плотностей, если предполагается очень контрастное дополнительное проявление. С этих диапозитивов при одинаковой экспозиции и выравнивающим проявлении снова печатают негативы, отбирают их и монтируют один над другим. С монтажа через увеличитель готовую изогелию печатают на фотобумагу (фиг. 78).

Материал и рецепты

Позитивный материал
Проявитель контрастный

Проявитель мягкий

Пленка ORWO FU-5
ORWO MH-28, разбавленный водой 1:1,3 мин
ORWO MH-28, разбавленный водой 1:5,4 мин

7.

МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ФОТОГРАФИИ

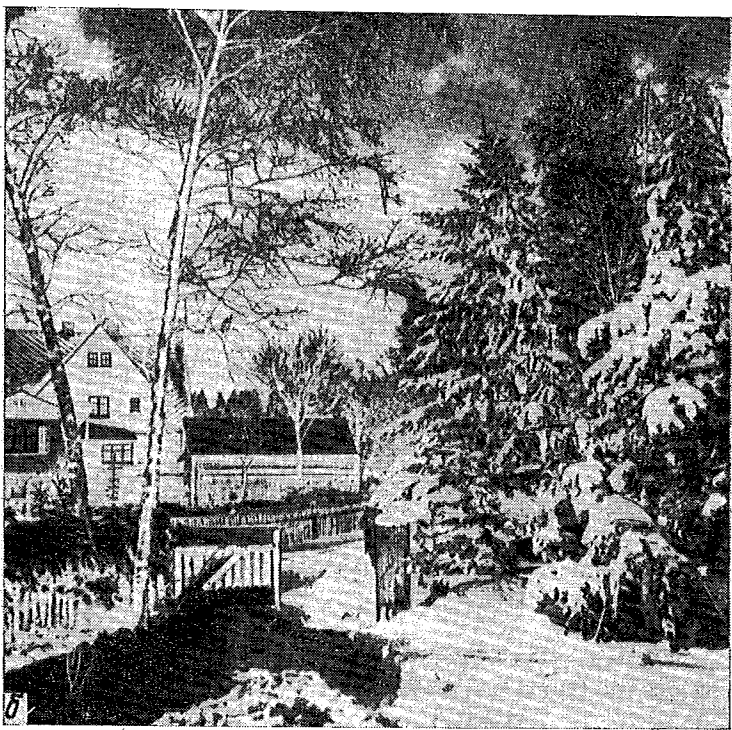
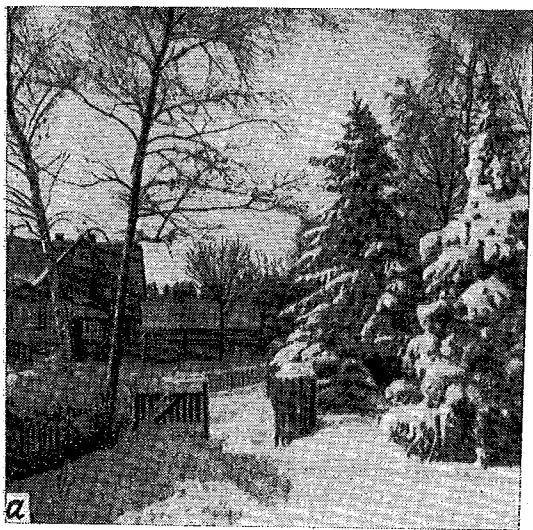
Главная задача художественной фотографии заключается в передаче наблюдателю основного содержания снимка в ясной и выразительной форме. Поскольку фотографический слой, имеющий высокую разрешающую способность, воспроизводит все другие расположенные рядом детали, необходимо найти пути и методы, которые облегчали бы восприятие снимка в указанном выше смысле.

Решение этой проблемы, как было показано в предыдущих разделах книги, имеет существенное значение и в научной фотографии при дешифрировании и преобразовании снимков. Поэтому разработанные для этой цели методы можно с успехом использовать для художественных и графических снимков. Принципиальная возможность их использования для художественной фотографии и предварительная подготовка для репродукции графических объектов рассмотрены в отдельных главах книги. В этом разделе на ряде примеров будут показаны возможности активной графической отделки.

На примере портретного снимка (фиг. 77) показана возможность использования метода сине-желтого тонирования (разд. 5.1.3). Благодаря достигнутому выравниванию контраста выразительность снимка значительно усилена.

На фиг. 78 приведена изогелия (разд. 6.5), полученная с использованием трех градаций оптической плотности; это дало возможность подчеркнуть, выделить контрасты света на фотоснимке.

На фиг. 79, а показаны дальнейшие возможности графической обработки любительского снимка. Отпечаток, изготовленный ФД-методом, вследствие сильного выравнивания контраста выглядит как рисунок пером

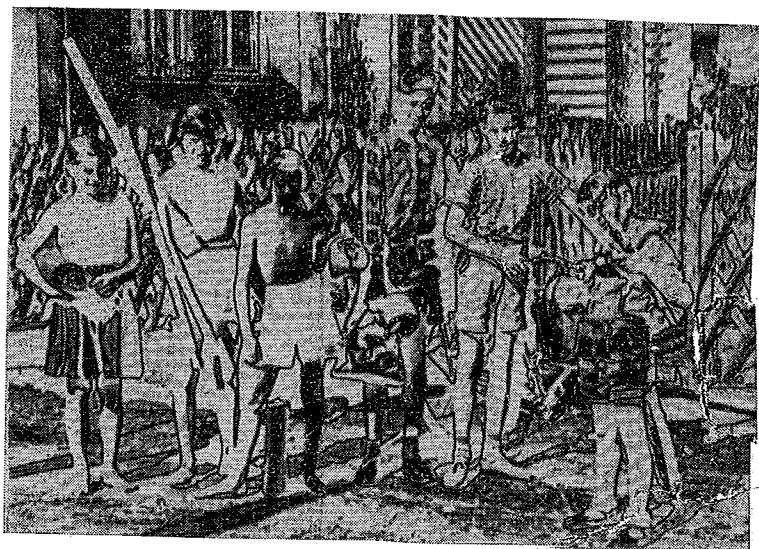




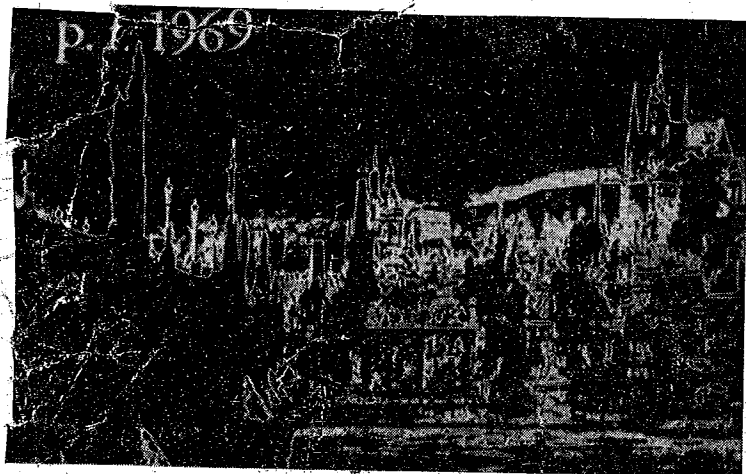
Ф и г. 79. Любительский снимок.
а — оригинал; б — ФД-копия; в — эквиденсита.

(фиг. 79, б). Метод эквиденсит (разд. 6.2) придает снимку совершенно иной вид (фиг. 79, в).

Наглядное представление о многочисленных возможностях графической обработки снимков методом эквиденсит дают фиг. 80 и 81 и фото 9. Особенно эффективен этот метод при использовании цветных фотоматериалов. На фото 10 приведены два варианта использования метода эквиденсит. Из семейства эквиденсит оригинального снимка, полученного на специальной пленке, отдельные эквиденситы печатаются на цветной фотоматериал через различные цветные светофильтры.



Ф и г. 80. Эквиденсита группового снимка.



Ф и г. 81. Пример применения эквиденситы, создающей впечатление ночного фотоснимка (Поляшек, Прага).

8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из письма А. Гумбольдта Карусу по поводу
открытия фотографии Дагерром.

Париж, 25 февраля 1839 г.

...О Дагерре я не знаю больше, чем опубликовано о нем Араго и мной. Во всяком случае, это одно из самых радостных и достойных восхищения открытий нашего времени. Оно не имеет ничего общего с эффектом на хлористом серебре; здесь свет образует позитив, что напоминает процесс отбелики подобно тому, как оконная решетка спустя месяцы отпечатывается на красных выцветших шторах.

У Дагерра можно видеть изображения в рамках под стеклом, большей частью на металле, а некоторые менее удачные — на бумаге и на стеклянных пластинках. Все они подобны тончайшим гравюрам по стали коричневато-серых бисерных тонов, воздух ощущается всегда печальным и размытым. Превосходные нюансы полутонов — переливов воды Сены под мостами или на середине реки, лошади, рыболовы с отбрасываемыми резкими тенями — при большом удалении от аппарата, когда из-за малого угла зрения мелкие движения уже не мешают..., воспринимаются как одноцветное, монохроматическое изображение, полученное с хорошей резкостью.

О размножении копий или изготовлении портретов пока еще не может быть речи. Такие пластинки длиной восемь и десять дюймов и шириной шесть дюймов, а иногда и большего размера получают при диафрагмировании. Освещенные батальные сцены можно получить за 8—10 мин и уменьшить до любого размера.

Поверхности влажных камней и стенок очень достоверны, что не достигается на медных гравюрах. Общий фон нежный и тонкий, однако из-за коричневого и серого цветов он кажется несколько печальным. Я видел внутренний вид Луврского дворца с бесчисленными барельефами... При рассмотрении через лупу видны светящиеся соломинки на всех окнах. На одном из снимков, сказал Араго, пятиэтажный дом имеет размер три четверти дюйма; на снимке можно увидеть, что в чердачном окне (какая мелкая деталь!) разбитое стекло заклеено бумагой. Араго теперь владеет секретом Дагерра и может получить за 10 мин совершенное изображение, причем видно, как оно возникает. На снимке виден тонкий громоотвод, который Араго невооруженным глазом не мог заметить.

В Париже никто не сомневается, что метод может применить любой желающий, причем даже во время путешествий.

Араго получит из казны для господина Дагерра и мадам Ньепс (вдовы изобретателя, тоже француза) по ходатайству Палаты депу-

татов необходимые 200 000 франков. Тогда, согласно принятому в этой стране правилу, изобретение будет обнародовано.

Какое удобство для архитектора — за 10 мин получить изображение перспективы всей колоннады Баальбека или убранства готической церкви. Дагерр считает, что при интенсивности освещения в Египте будет достаточно 2—3-минутной выдержки.

Какие усовершенствования будут сделаны в дальнейшем, сейчас сказать нельзя. Дагерр очень боялся, что кто-то нападет на след изобретения. Я уверен в том, что такое изобретение, коль скоро оно сделано, не останется без развития¹.

А. Гумбольдт

В те годы фотография представляла собой новое открытие со всеми присущими начальному периоду трудностями и несовершенствами. Несмотря на это, Гумбольдт по достоинству оценил ее значение, предсказав фотографии большое будущее. Достижения фотографии превзошли все ожидания, но в ходе интенсивного развития науки и техники очень быстро возрастали и предъявляемые к ней требования.

¹ Эта книга начинается и заканчивается с упоминания имени Дагерра как изобретателя фотографии. Справедливости ради необходимо указать, что такое утверждение неверно. У колыбели фотографического процесса трудились в разной степени и с разными целями три автора: Жозеф Нисефор Ньепс (1765—1833), Луи Жак Манде Дагерр (1787—1851) и Генри Фокс Тальбот (1800—1877).

Опубликованные в 1949 г. Документы по истории изобретения фотографии (Переписка Ж. Н. Ньепса, Ж. М. Дагерра и других лиц, Изд. АН СССР) позволили установить более точно роль первых двух авторов. В вводной статье редактор переписки чл.-корр. АН СССР Т. П. Кравец пишет: «Нисефор Ньепс сошел в могилу не признанный и не признанный современниками; сын Нисефора продал право своего отца на его великое изобретение, а его «друг» и компаньон сделал все, чтобы затмить ту славу, которая справедливо принадлежала изобретателю. Даже и теперь, через 100 лет, нам невозможно оставаться равнодушными, когда на наших глазах в веренице документов проходит систематическое и злонамеренное похищение прав Нисефора Ньепса». (Цит. по книге — Т. П. Кравец «От Ньютона до Вавилова», 1967, «Наука», стр. 101.) Что же касается Г. Ф. Тальбота, то его история хорошо известна. Он оставил все свои изобретения в дар обществу, значительно расширив тем самым круг ученых, использовавших «тальботипию». — *Прим. ред.*

В настоящее время возникла аналогичная ситуация: мы находимся близко к пределу оптимальной эффективности классической серебряной фотографии. Все возможные усовершенствования не могут дать того результата, который может быть получен при использовании новых типов систем с двумерным накоплением информации.

«Беззернистые» несеребряные процессы (лаковые, фотохромные и подобные им слои) находятся в начальной стадии разработки. Однако это направление развивается слишком интенсивно, если учесть, что мировые запасы серебра сокращаются. Пока ни один из этих методов не достиг эффективности фотографии на солях серебра, но на основании уже имеющегося опыта можно говорить о том, что это направление весьма перспективно.

Независимо от появления новых типов фотоматериалов в будущем получат дальнейшее развитие и усовершенствование методы более полного извлечения и преобразования зарегистрированной информации. Некоторые уже намеченные пути развития изложены в этой книге, но их можно считать лишь успешным началом решения постоянно возникающих актуальных проблем.

Благодаря развитию методов двумерного преобразования фотограмм появилась возможность сокращения объема извлекаемой информации в пределах определенных параметров, представляющих основной интерес. Значение этих методов для будущего нельзя переоценить, так как с их помощью может быть осуществлено автоматическое двумерное дешифрирование изображения. В связи с этим данная проблема изложена в большем объеме, чем современные области применения этих методов. Однако тенденции в дешифрировании информации продолжают развиваться в указанном направлении.

Внедрение достижений теории передачи информации в фотографию предоставляет возможность описать и количественно оценить многие проблемы двумерной передачи фотографической информации. Прогресс в развитии фотографии в свою очередь открывает возможности применения новых фотографических методов для развития теории передачи информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Altmann J. H., Microdensitometry of High Resolution Plates by Measurement of the Relief Image, *Photogr. Sci. Eng.*, 10, p. 156 (1966).
2. Amft D., см. [172].
3. Angerer E., Joos G., Wissenschaftliche Photographie, Leipzig, 1959.
4. Angerstein W., Kankelwitz B., Krug W., Rakow A., Über Detailerkennbarkeit bei farbigen Röntgenbildern, *Magyar Radiology*, XIII, S. 212 (1961).
5. Angerstein W., Kankelwitz B., Krug W., Rakow A., Erzeugung farbiger Röntgenbilder, *Fortschr. Röntgenstr. Nuclearmed.*, 100, S. 257 (1964).
6. Angerstein W., Krug W., Rakow A., Eine Methode zur Erzeugung farbiger Röntgenbilder, *Fortschr. Röntgenstr. Nuclearmed.*, 100, S. 257 (1964).
7. Arens H., Über die Theorie des Sabbattier-Effektes, *Z. wiss. Photogr.*, 44, S. 44, 51, 172 (1949); 45, S. 1 (1950).
8. Batsch-Tesch L., см. [80].
9. Backström H., Hafström H., Untersuchungen über ein Tontrennungsverfahren, *Photogr. Ind.*, 37, S. 1142, 1156 (1939).
10. Behrendt W., Photographische Maskenverfahren, *Photogr. Korr.*, 90, S. 19 (1954).
11. Bestenreiner F., Deml R., Trägerfrequenz-Photographie, *Optik*, 28, S. 263 (1968/1969).
12. Billings D. E., см. [37].
13. Blumová V., Polašek J., Photographische Messung der Kontrastübertragungsfunktion von Aufnahmeobjektiven, *Optik*, 29, S. 236 (1969).
14. Böck G., Tesch L., Chromogenentwicklung und Blauverstärkung bei Röntgenaufnahmen, *Das medizinische Bild*, 11, S. 37 (1968).
15. Böck G., Richter K., Kankelwitz B., Krug W., Anwendungsmöglichkeiten der Chromogenentwicklung und Blauverstärkung von Röntgenaufnahmen bei Untersuchungen im Gonadenbereich, *Deutsches Gesundheitswesen*, 23, S. 1 (1968).
16. Böck S., см. [79].
17. Брейдо И. И., Чеботарева Т. П., Эквиденситометрия Сабатье и ее применение для фотометрии туманностей и комет, *Изв. астроном. обсерв. Пулково*, 24, стр. 159 (1966).

18. Брейдо И. И., Ермошина К. П., Получение изофот объектов созвездия Большой Медведицы с помощью фотографической эквиденситометрии, *Астроном. журн. АН СССР*, 45, стр. 865 (1968).
19. Букатин Е. А., Теория усиления слабых фотографий в темном поле, *Журн. научн. исслед. фотогр. кинематогр.*, 9, стр. 161 (1964).
20. Callender R. M., Photographische Darstellung von Leuchtdichteverteilungen, *Lichttechnik*, 13, S. 403 (1961).
21. Callier A., Absorption und Diffusion des Lichtes in der entwickelten photographischen Platte, nach Messungen mit dem Mertensschen Polarisationsphotometer, *Z. wiss. Photogr.*, 7, S. 257 (1909).
22. Chakley L., Printed out Dodging Masks, *J. Photogr. Sci.*, 11, p. 42 (1963).
23. Чеботарева Т. П., см. [17].
24. Dähne S., см. [188].
25. Deml R., см. [11].
26. Djourno A., франц. пат. 1216628, 26.12.1958.
27. Dorion G. H., см. [152].
28. Driffield V. C., см. [74].
29. Duffieux M., L'intégral de Fourier et ses applications à l'optique, Rennes, 1946.
30. Eggert J., Küster A., Über die Körnigkeit photographischer Schichten, *Kinotechnik*, 16, S. 127 (1935).
31. Eichler W., Chromogenentwickelnde Photomaterialien für Röntgen- und Gammastrahlen, Internationaler Kongress für wissenschaftliche Photographie, Darmstadt, 1958, S. 596.
32. Eisen F. C., см. [195].
33. Emmerman C., Das einfachste Tontrennungsverfahren, *Das Klein-film-Foto*, 7, S. 19 (1937).
34. Engelbrecht J., см. [171].
35. Ермошина К. П., см. [18].
36. Fisher J. F., Gershon-Cohen J., Television Techniques for Contrast Enhancement and Colour Translation of Roentgenograms, *Am. J. Roentg.*, 79, p. 342' (1958).
37. Fowler J. F., Johnson D. S., Billings D. E., An Isophotal Densitometer, *J. Opt. Soc. Am.*, 43, p. 63 (1953).
38. Fricke W., Falschfarbenphotographie für die Luftbild-Interpretation, *Umschau*, 65, S. 441 (1965).
39. Frieser H., Untersuchungen über die Wiedergabe kleiner Details, *Photogr. Korr.*, 91, S. 69 (1955); 92, C. 51 (1956).
40. Frieser H., Spread Function and Contrast Transfer Function of Photographic Layers, *Photogr. Sci. Eng.*, 4, p. 324 (1960).
41. Frieser H., Limits and Possibilities of the Photographic Process, *J. Photogr. Sci.*, 9, p. 379 (1961).
42. Фризер Г., Теория и применение маскирования, доклад на Международном конгрессе по научной фотографии, Москва, 1970.
43. Gershon-Cohen J., см. [36].
44. Gerth E., Registrierung des zeitlichen Verlaufs der Lichtintensität, *Feingerätetechnik*, 6, S. 585 (1967).

45. Gerth E., Vorschläge für ein äquidensitometrisch begründetes Begriffssystem der Sensitometrie, *Z. wiss. Photogr.*, 62, S. 65 (1968).
46. Gerth E., Über Verfahren zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von Häufigkeitsverteilungen, *Feingerätetechnik*, 18, S. 171, 225 (1969).
47. Gerth E., Gottweiss L., Chemische Äquidensitentransformationen, *Z. wiss. Photogr.*, 62, S. 95 (1968); пат. ГДР 67869.
48. Gerth E., см. [87, 88].
49. Görlich P., Die Naturwissenschaft wäre ein Torso... *ORWO-STUDIO*, 1, S. 1 (1966).
50. Герлих П., Херда К., Круг В., Вайде Г.-Г., К вопросу о регулируемом изменении контраста, доклад на XX совещании по научной фотографии, Ленинград, 1968.
51. Gottweiss L., см. [47].
52. Greif H., Die Isohelie — eine Ergänzung der Äquidensitometrie, *Bild und Ton*, 14, S. 112 (1961).
53. Greif H., Die Anwendung des Isohelie-Verfahrens zur Bildverbesserung, *Bild und Ton*, 15, S. 162 (1962).
54. Grubba H., см. [185].
55. Hafström H., см. [9].
56. Hannes H., Interferometrische Messungen an Phasenstrukturen für die Holographie, *Optik*, 26, S. 363 (1967).
57. Hempenius S. A., Dodging a Non-Linear Element in the Contrast Transfer of the Photographic System, *Photogrammetria*, 17, p. 1 (1960—1961).
58. Hendeborg L. O., The Contrast Transfer of Periodical Structures in a Photographic Emulsion developed with Adjacency Effects, *Arkiv Fysik*, 16, p. 417, 457 (1960).
59. Herda K., Mattigk H., Ritter O., Das elektronische Kopiergerät Elcop, *Jenaer Rundschau*, 11, S. 69 (1966).
60. Herda K., Krug W., Weide H.-G., Zur Lösung der Problems gesteuerter Kontrastveränderung für verschiedene Ortsfrequenzen photographischer Bilder, *Jenaer Jahrbuch*, 1970, S. 185.
61. Herda K., см. [50].
62. Hess G., см. [121].
63. Hess G., см. [122, 124].
64. Hess G., см. [130].
65. Hodam F., Über das Verhalten photographischer Materialien bei der Wiedergabe kleiner isolierter Details, *Optik*, 17, S. 101 (1960).
66. Högner W., Der Sabattier-Effekt als hervorragendes Hilfsmittel in der Äquidensitometrie, *Fotografie*, 17, S. 457 (1963).
67. Högner W., Anwendung des FAN-Verfahrens in der Kleinbildtechnik, *Fotografie*, 22, S. 32 (1968).
68. Högner W., Die Herstellungstechnik photographischer Äquidensiten, *Jenaer Rundschau*, 14, S. 340 (1969).
69. Högner W., Richter N., Morphologische und photometrische Untersuchungen ab extragalaktischen Nebeln in 5 Farbbereichen mit Hilfe der Äquidensitenmethode, *Jenaer Rundschau*, 9, S. 187 (1964).
70. Högner W., Richter N., Sonnenkorona-Isophotometrie auf äquiden-

- sitometrischem Wege, *Monatsber. dtsch. Akad. Wiss. Berlin*, 7, S. 258 (1965).
71. Högner W., Richter N., Equidensitometry — The New Technique of Astronomical Isophotometry, *Jenaer Rundschau*, 11, S. 315 (1966).
72. Högner W., Richter N., Isophotometrie der kleinen Magellanschen Wolke und der Kugelhaufen NGC 104 (Tuc) und NGC 362 mit Hilfe photographischer Äquidensiten, *Sterne*, 43, S. 113 (1967).
73. Högner W., Richter N., Isophotometrischer Atlas der Kometen, Leipzig, 1969.
74. Hurter F., Driffield V. C., Photo-Chemical Investigations and a New Method of Determination of the Sensitiveness of Photographic Plates, *J. Soc. Chem. Ind.*, 9, p. 455 (1890).
75. Johannesson J., cm. [117].
76. Johnson D. S., cm. [37].
77. Joos G., cm. [3].
78. Kankelwitz B., Krug W., Lau E., Kontraststeuerung photographischer Bilder durch Buntenwicklung, in: *Optik und Spektroskopie aller Wellenlängen*, Berlin, 1962, S. 288.
79. Kankelwitz B., Tesch L., Böck G., Zur Methodik der Chromogenentwicklung von Röntgenaufnahmen, *Deutsches Gesundheitswesen*, 23, S. 397 (1968).
80. Kankelwitz B., Batsch-Tesch L., Erkenntnisse zum Buntentwicklungsverfahren, *Z. wiss. Photograph.*, 63, S. 1 (1969).
81. Kankelwitz B., cm. [4].
82. Kankelwitz B., cm. [15].
83. Kind E. G., Herstellung von Einkornschichten aus normalen Emulsionen durch Einfärben, *Z. wiss. Photograph.*, 53, S. 266 (1959).
84. Kind E. G., Lau E., Die Vorteile photographischer Streulichtbilder, *Optik*, 18, S. 646 (1961).
85. Köllner H., Verschiedene Möglichkeiten der Gradationsbeeinflussung beim Kopieren, *Bild und Ton*, 14, S. 266 (1961).
86. Kofsky I. L., cm. [148].
87. Kröber K., Gerth E., Äquidensitometrische Bestimmung des Mittelwertes und der mittleren Schwankung physikalischer Messgrößen, *Z. wiss. Photograph.*, 59, S. 38 (1965).
88. Kröber K., Gerth E., Über Verfahren zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von Häufigkeitsverteilungen, *Feingerätetechnik*, 19, S. 276, 317, 371 (1970); пат. ГДР 40609 и 70414.
89. Kryg W., Bessere Wiedergabe der Oberflächenstruktur durch Zweistrahl — als durch Mehrstrahlinterferenzen, *Feingerätetechnik*, 4, S. 167 (1955).
90. Krug W., Mehrstrahlinterferenzen und Äquidensiten, *Optik*, 13, S. 25 (1956).
91. Krug W., Überblick über die äquidensitometrischen Verfahren, *Optik*, 16, S. 621 (1959).
92. Krug W., Einige photographische und elektronische Verfahren zur Gewinnung von Bildinformationen, *Feingerätetechnik*, 12, S. 524 (1963).
93. Krug W., Neuartige Kontraststeuerung photogrammetrischer Aufnahmen, *Vermessungstechnik*, 12, S. 178 (1964).

94. Krug K., Verfahren zur besseren Informationsausschöpfung von Negativen, *Photographie*, 11, S. 32 (1967).
95. Krug W., Neue Wege zur Auswertung photographischer Bilder, *Photogr. u. Film in Industrie u. Technik*, Darmstadt, 1968, S. 89; *Umschau*, 67, S. 255 (1967).
96. Krug W., Lau E., Die Äquidensitometrie, ein neues Verfahren für Wissenschaft und Technik, *Feingerätetechnik*, 1, S. 391 (1952); пат. ГДР 14163 и 19785, 12. X. 1952.
97. Krug W., Lau E., Die Äquidensitometrie, ein Verfahren zur zweidimensionalen Auswertung von Bildern, *Phys. Bl.*, 15, S. 11 (1959).
98. Krug W., Rienitz I., Schulz G., Beiträge zur Interferenzmikroskopie, Berlin, 1961.
99. Krug W., Schusta J., Elektronische Äquidensitenherstellung, *Optik* 15, S. 145, 550 (1958).
100. Krug W., см. [4].
101. Krug W., см. [15].
102. Krug W., см. [50].
103. Krug W., см. [78].
104. Krug W., см. [118, 127].
105. Krug W., см. [182].
106. Küster A., см. [30].
107. Langner G., Zur Messung der Informationskapazität photographischer Schichten, *Photogr. Korr.*, 102, S. 101 (1966).
108. Langner G., Müller R., Zur Praxis der Modulationsübertragungsfunktion, *Mitt. Forschungslaboratorium Afga-Gevaert (AG), Leverkusen/München*, IV, S. 312 (1964).
109. Lau E., Ausschöpfung des Informationsgehaltes von Schwarzweiss-Negativen (Holokopie), *Optik*, 21, S. 637 (1964).
110. Lau E., Holokopie — ein Verfahren zur vollständigen Erfassung des Informationsgehaltes photographischer Schwarzweiss-Negative, *Bild und Ton*, 16, S. 258 (1963); 17, S. 167 (1964); 18, S. 194 (1965); 19, S. 66 (1966).
111. Lau E., Ortsfrequenzen auf Photographien bei Rasterreproduktion und das Detail-Filterverfahren, *Bild und Ton*, 21, S. 254 (1968).
112. Lau E., Fotochemisches Detailfilterverfahren, *Bild und Ton*, 22, S. 196 (1969).
113. Lau E., Positivreproduktionen im Detailfilterverfahren, *Bild und Ton*, 22, S. 66 (1969).
114. Lau E., Detailfilterverfahren zur Heraushebung von Bilddetails, *Photographie*, 24, № 6, S. 35 (1970).
115. Lau E., Detailfilterverfahren für wissenschaftliche Aufnahmen, *Photographie*, 24, № 8, S. 32 (1970).
116. Lau E., Zur Theorie und Praxis des Detailfilterverfahrens, *Bild und Ton*, 23, S. 357 (1970).
117. Lau E., Johannesson J., Das Optimum der Detailwiedergabe der photographischen Schichten, *Z. Phys.*, 35, S. 505 (1934).
118. Lau E., Krug W., Die Äquidensitometrie, Grundlagen, Verfahren und Anwendungsgebiete, Berlin, 1957.
119. Lau E., Kind E. G., Roose G., Schwingungsplastik als Mittel zur photographischen Photometrie, *Optik*, 15, S. 162 (1958).

120. Lau E., Schalge R., Realisierung von extremen lichtoptischen Vergrößerungen und ihre Bedeutung, *Feingerätetechnik*, 7, S. 121 (1958).
121. Lau E., Hess G., Photographische Grossflächenphotometrie, *Bild und Ton*, 13, S. 71 (1960); Optik und Spektroskopie aller Wellenlängen, Berlin, 1962, S. 285; *Monatsber. dtsh. Akad. Wiss. Berlin*, 2, S. 678 (1960).
122. Lau E., Hess G., Stutzke G., Weide H.-G., Zum Thema „Holokopie“, *Bild und Ton*, 17, S. 69 (1964).
123. Lau E., Weide H.-G., Stutzke G., Kopieren mit phogochemischen Detailfilterverfahren, *Bild und Ton*, 19, S. 290 (1966).
124. Lau E., Hess G., Stutzke G., Weide H.-G., Hervorhebung von Bildfrequenzbereichen durch das photochemische Detailfilterverfahren, *Bild und Ton*, 20, S. 66 (1967).
125. Lau E., Weide H.-G., Anwendung des Detailfilterverfahrens, *Bild und Ton*, 9, S. 259 (1967).
126. Lau E., Weide H.-G., Stutzke G., Photographische Entwicklung mit Detailfilterwirkung und Kontrastregelung, *Optik*, 25, S. 79 (1967).
127. Lau E., Krug W., The Equidensitometry, Methods of Twodimensional Photometry, Principles and Fields of Application, London and New York, 1968.
128. Lau E., Weide H.-G., Kontrastübertragungsfunktion und das photochemische Detailfilterverfahren, *Bild und Ton*, 21, S. 66 (1968).
129. Lau E., Stutzke G., Vereinfachtes photographisches Detail-Filterverfahren, *Bild und Ton*, 22, S. 600 (1969).
130. Lau E., Hess G., Vogel J., Photographische Grossflächenphotometrie in Bereich der Röntgendiagnostik der Lauge, *Bild und Ton*, 23, S. 307 (1970).
131. Lau E., Stutzke G., Wotzka N., Entwicklungs-Detailfilterverfahren (EDFV) mit Gradienten-Eskalation, *Bild und Ton*, 24, S. 101 (1971).
132. Lau E., cm. [78].
133. Lau E., cm. [84].
134. Lau E., cm. [96, 97].
135. Lau E., cm. [188].
136. Lenk H., Holographie, Leipzig, 1969.
137. Levy M., Wide Latitude Photography, *Photogr. Sci. Eng.*, 11, p. 46 (1967).
138. Linfoot E. H., Fourier Methods in Optical Image Evaluation, London, 1957.
139. Linfoot E. H., Qualitätsbewertung optischer Bilder, Braunschweig, 1960.
140. Linfoot E. H., Optical Image Evaluation, London, 1964.
141. Lohmann A., Aktive Kontrastübertragungstheorie, *Opt. Acta*, 6, S. 319 (1959).
142. Ludewig H., Einfache Tontrennung, *Photogr. Rundschau*, 75, S. 67 (1938).
143. Märker I., Eine Photographische Methode zur Messung der Mo-

- dulationsübertragungsfunktion von Objektiven. I. Symp. Inkamera, Prague, 1963, S. 105.
144. Mattigk H., cm. [59].
145. Meisel P., Das Fluorododge-Kontaktverfahren, *Fortschr. Röntgenstr. Nuclearmed*, 101, S. 431 (1964).
146. Melcher H., Gerth E., Ein neues Verfahren zur photographischen Aufzeichnung und Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Impulsdichte, *Atomenergie*, 9, S. 133 (1964).
147. Mente O., Subjektive Beeinflussung der Kopie auf Bromsilberpapier, *Photogr. Rundschau*, 49, S. 5 (1912).
148. Miller C. S., Parsons F. G., Kofsky I. L., Simplified Two-Dimensional-Microdensitometry, *Nature*, 202, S. 1196 (1964).
149. Möbius W., Über die Anwendung des elektronischen Kopiergerätes Elcop in der geburtshilflichen Diagnostik, *Jenaer Rundschau*, 13, S. 15 (1968).
150. Müller R., cm. [108].
151. Mutter E., Kompendium der Photographie, Berlin-Borsigwalde, 1958/1963.
152. Nachtigall G. W., Dorion G. H., Novel Photochromic Systems for Photographic Masking, *Photogr. Sci. Eng.*, 9, p. 67 (1965).
153. Parsons F. G., cm. [148].
154. Perrin F. H., Methods of Appraising Photographic Systems, *J. Soc. Mot. Pict. Tel. Eng.*, 69, p. 151, 239 (1960).
155. Polšek J., cm. [13].
156. Polze S., Zur Messung des Auflösungsvermögens photographischer Schichten mit Zweistrahlinterferenzen, Vortrag auf der Arbeitstagung «Spektroskopie» der Physikalischen Gesellschaft in der DDR, Jena, 1957; *Z. wiss. Photogr.*, 53, S. 102 (1959).
157. Rakow A., Zapf K., Zur Äquidensitometrie und ihrer Bedeutung für die Bildanalyse elektronenmikroskopischer Aufnahmen biologischer Objekte, *Mikroskopie*, 17, S. 217 (1962).
158. Rakow A., cm. [4].
159. Ranz E., Eine neue photographische Schicht zur direkten Herstellung von Äquidensiten, Vortrag auf dem II. Internationalen Kongress für Photographie und Film in Industrie und Technik, Köln, 2—4 Okt., 1968; *Bildmessung und Luftbildwesen*, 38, S. 123 (1970).
160. Ranz E., A New Photographic Layer for the Production of Equidensities in One Operation, Proc. 14th Annual Techn. Symp., San Francisco, 1969, p. 416; *Bildmess. Luftbildwes.*, 38, S. 123 (1970).
161. Richter K., cm. [15].
162. Richter N., Kompakte Galaxien — eine bemerkenswerte neue Kategorie von Sternsystemen, *Jenaer Rundschau*, 14, S. 324 (1969).
163. Richter N., Högnér W., Photographic Isophotometry of comets by Equidensitometry, *Mitt. Karl-Schwarzschild-Observ.*, № 22 (1964).
164. Richter N., cm. [69—73].
165. Ritter O., cm. [59].
166. Röhler R., Informationstheorie in der Optik, Stuttgart, 1967.
167. Romer W., Isohelie, eine neue Technik der bildmässigen Photographie, *Camera*, S. 191 (1932); S. 2 (1938).

168. Rudolph I., Die Kontrastübertragungsfunktion als Bildgütekriterium, *Bild und Ton*, 11, S. 328 (1959).
169. Schalge R., см. [120].
170. Schiel M., Tontrennungsverfahren der bildmässigen Photographie. Halle (Saale), 1951, Berlin, 1954.
171. Schmidt H., Engelbrecht J., Interferenzeinrichtung zur Untersuchung von Sternspektren nach dem Schwärzungsplastikverfahren, *Z. Instrumentenkunde*, 66, S. 227 (1958).
172. Seidel H., Amft D., Verbesserung in der Lichtbogenphotometrie durch Anwendung des Äquidensitenverfahrens, *Elektro-Apparate Mitt.*, 9, S. 35 (1969).
173. Siedentopf H., Über Körnigkeit, Dichteschwankungen und Vergrösserungsfähigkeit photographischer Negative, *Physik. Z.*, 38, S. 154 (1937).
174. Smith H. M., Photographic Relief Images, *J. Opt. Soc. Am.*, 58, p. 33 (1968).
175. Stroke G. W., An Introduction to Coherent Optics and Holography, New York, 1966.
176. Stutzke G., см. [123, 126].
177. Stutzke G., см. [122, 124].
178. Teicher G., Handbuch der Phototechnik, Halle, 1967.
179. Tesch L., см. [79].
180. Tesch L., см. [14].
181. Veres I., Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Vanadiumverbindungen, *Mikroskopie*, 24, S. 172 (1969).
182. Veres I., Krug W., The More Complete Working out of Information Content of Electronmicrographs. IV. Europ. Conf. on Electronmicroscopy. I. Rom, 1968, p. 607.
183. Vialli M., Zanotti L., L'isodensitometrie Fotografica in Istochimica, *Rev. Istochim.*, 14, p. 2 (1968).
184. Vogel J., см. [130].
185. Volke Chr., Grubba H., Zunahme der Körnigkeit bei Deckkraftehöhung durch Emulsionszusätze oder Verstärkerbäder, *Z. wiss. Photogr.*, 62, S. 123 (1968).
186. Watson A. J., The Fluoro-Dodge Method for Contrast Control, *Photogramm. Eng.*, 24, p. 638 (1958).
187. Weide H.-G., Die Kopie von Schwarzweissnegativen, insbesondere die Holokopie, *Augenoptik*, 8, S. 177 (1964).
188. Weide H.-G., Lau E., Dähne S., Der Einfluss verschiedener Bleichverfahren auf Grösse und Habitus photographischer Silber- und Halogensilberkörner, *Z. wiss. Photogr.*, 61, S. 164 (1967).
189. Weide H.-G., Grundlagen des photochemischen Detailfilter-Verfahrens, Dissertation, Berlin, 1968.
190. Weide H.-G., Zur Technik des Detailfilterverfahrens, *Bild und Ton*, 22, S. 2 (1969).
191. Weide H.-G., см. [123, 126].
192. Weide H.-G., см. [50].
193. Weide H.-G., см. [60].
194. Weide H.-G., см. [125, 128].
195. Wolfe R. N., Eisen F. C., Irradiance Distribution in a Lloyd Mirror Interference Pattern, *J. Opt. Soc. Am.*, 38, p. 661 (1948).

196. Wolff G., Die Farbe als neues Element bei der Luftbilderkundung intensiv bewirtschafteter Wälder, *Archiv Forstw.*, 16, S. 923 (1967).
197. Wolff G., Kann die quantitative Interpretation forstlicher Luftbilder durch chemischen Ausgleich von Bildkontrasten verbessert werden? *Archiv Forstw.*, 16, S. 159 (1967).
198. Zanotti L., см. [183].
199. Zapf K., см. [157].

ПОСЛЕСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

В книге Круга и Вайде рассмотрен большой комплекс вопросов максимального извлечения информации, содержащейся в черно-белых негативах. Методы коррекции изображения, различные способы обработки негативов рассмотрены здесь достаточно обстоятельно. Но наряду с этим в книге затронут ряд вопросов, касающихся фотографического процесса в целом, влияния различных факторов на информационные свойства, применения специального фотографического материала или специфических приемов проявления негативов, позволяющих улучшить воспроизведение деталей фотографируемых объектов. При их изложении авторы явно недостаточно учитывали современное состояние данной проблемы, в частности взаимосвязь между объектом фотографирования и свойствами светочувствительного материала, условиями экспонирования и проявления, которые необходимо реализовать для максимального извлечения информации. Следует сделать ряд дополнений и по другим вопросам, затронутым в данной книге.

Прежде всего нужно дифференцировать понятие об объекте фотографирования. Обычно различают два основных случая. Первый характеризуется наличием различных переходов в яркости деталей объекта. Эти переходы в большей или меньшей степени наблюдаются в полутонах, тенях и светах объекта. К этому типу относятся большинство сюжетов — пейзаж, портрет, архитектура, микро- и макрофотография, рентгенофотография, аэросъемка и многие другие виды фотографии. Второй тип сюжетов характеризуется наличием только двух градаций яркости — светлого и темного. К такого рода объектам относятся репродукции печатного и рукописного текста, чертежей, рисунков, некоторые виды астрофотографии и т. п.

Остановимся первоначально на объектах первого типа. Для объектов первого типа (назовем их полутонными объектами) при фотографической регистрации информации необходимо учитывать не только интервал яркостей, но и контраст деталей, а также распределение контраста в зависимости от размера деталей. Обычно отношением между фотографической шириной и интервалом яркостей объекта съемки характеризуют степень возможных отклонений в экспозиции. При этом предполагается, что фотографическая ширина определяется проекцией прямолинейного участка характеристической кривой на ось логарифмов количества освещения и, следовательно, в пределах прямолинейного участка передача фотографическим слоем мелких и крупных деталей будет равноценной. На таком предположении основаны, в частности, все рассуждения в гл. 5 в связи с анализом на фиг. 34.

Однако форма и наклон характеристической кривой только в самом грубом приближении характеризуют передачу деталей изображения. Многочисленными исследованиями [Баранов, 1949], [Истомин, 1955], [Kardas, 1955], [Вифанский, Гороховский, 1959] установлено, что наилучшая передача деталей достигается в среднем участке характеристической кривой с оптической плотностью 0,6—0,9 сверх вуали. Интервал экспозиций, в пределах которого достигается заданная проработка деталей, непосредственно связан с их величиной и контрастом. Он тем меньше, чем более мелкие или менее контрастные детали формируются фотографическим слоем. Это видно и из фиг. 5 (см. стр. 22), на которой показано изменение величины разрешающей способности в зависимости от количества освещения. Максимум разрешающей способности здесь отчетливо виден. К сожалению, на фигуре нет характеристической кривой, измеренной в тех же условиях. Но можно представить, как разрешающая способность еще в пределах прямолинейного участка возрастает, достигает наибольшего значения при указанной величине оптической плотности, а затем начинает снижаться. С уменьшением контраста разрешающая способность уменьшается, соответствующая кривая проходит ниже. Так с изменением контраста оптического изобра-

жения, воспринимаемого фотографическим материалом от 1:1000 до 1:1,25 ($K=1$ и 0,1; см. стр. 20), разрешающая способность уменьшается в три раза. Соответственно изменяется интервал экспозиций, в пределах которого достигается заданное значение разрешающей способности.

Необходимо учитывать, что детали большого контраста встречаются в объектах очень редко. Обычно преобладают детали малого контраста. В аэрофотосъемке детали с контрастом менее 1:1,25 составляют около 70—80% всей совокупности [Истомин, 1955], [Тепляков, 1959], причем с уменьшением размера деталей уменьшается и их контраст. Аналогичное положение наблюдается и для многих других объектов фотографирования. Указанное обстоятельство предъявляет ряд требований к фотографическому процессу, если перед ним ставится задача обеспечить возможно полную регистрацию информации.

Прежде всего следует применить для фотографирования негативный материал, обеспечивающий наилучшую передачу деталей объекта съемки в требуемом интервале яркостей. В общем наблюдается такое соотношение: с уменьшением светочувствительности, при прочих равных условиях, увеличивается резкость, меньше зернистость и, следовательно, лучше передача деталей, больше диапазон экспозиций (резольвометрическая широта), в пределах которого обеспечивается передача мелких, малоконтрастных деталей. Так, при одинаковой протяженности прямолинейных участков характеристических кривых и при проявлении до коэффициента контрастности 0,65 интервал экспозиций, в пределах которого передаются детали более 15 мм^{-1} (с контрастом 1:1,25), составляет для малочувствительного материала (в логарифмической мере) 2,15, материала средней чувствительности 1,70 и для материала высшей чувствительности 0,90. Светочувствительность этих материалов возрастает соответственно как 1:2:4, а интервал экспозиций (в арифметической мере) уменьшается как 1:140, 1:70 и 1:8. В такой же последовательности ухудшаются свойства этих фотопленок в отношении передачи наиболее мелких и наименее контрастных деталей.

Качество изображения, регистрация информации определяются в данном случае двумя факторами. Прежде всего функцией передачи модуляции (ФПМ) слоя или, иначе говоря, эффективным диаметром кружка рассеяния. Чем больше этот кружок, тем хуже резкость изображения и фотографический материал оказывается неспособным передать достаточно мелкие и малоконтрастные детали. Так, в рассмотренном примере эффективный диаметр кружка рассеяния составляет соответственно 23, 37 и 43 мкм (см. стр. 24).

Второй фактор, имеющий значение при относительно больших увеличениях изображения, — зернистость. Она обусловлена флуктуациями почернения, измеряемыми среднеквадратичной величиной гранулярности. Эта величина в данном случае увеличивается приблизительно в два раза при переходе от малочувствительного материала к высшей. Ориентировочно можно считать, что предельное увеличение с негатива в первом случае будет возможно в 15—20 раз, а во втором только в 5—8 раз.

К сожалению, применение таких объективных показателей информационных свойств, как резкость (эффективный диаметр кружка рассеяния) и гранулярность, еще не получили широкого применения. Поэтому при выборе негативного материала приходится учитывать зачастую только светочувствительность и величину разрешающей способности. Такой путь иногда может быть ошибочным. В ряде случаев [Истомин, 1965 и 1973] лучшая передача деталей достигается не при максимальной разрешающей способности, а при наибольшей резкости и наименьшей зернистости.

Разрешающая способность не всегда является мерой информационных свойств фотографических материалов по ряду причин. Главное заключается в том, что для современных материалов минимально разрешающая величина, которая может быть отдельно передана в изображении, составляет примерно от 10 до 1 мкм, тогда как в реальном изображении, используемом в практике фотографии, размеры деталей значительно больше. Для наиболее мелких деталей их поперечник не превышает 50—30 мкм. Оценивая величину разрешающей способности, мы не имеем возможности непосредственно судить

о передаче деталей, имеющих решающее значение для практики. Приходится исходить из предпосылки, что резкость изображения крупных деталей и их воспроизведение будут тем лучше, чем больше величина разрешающей способности.

Указанное несоответствие можно устранить, если на слой проектировать изображение решетки малого контраста с тем, чтобы размеры разрешаемых деталей были сравнимы с встречающимися на практике. В некоторых случаях используют два значения разрешающей способности. Одно для контраста 1:1000 и второе для 1:1,6 или 1:1,25, что лучше соответствует действительности.

Однако стандартным остается значение разрешающей способности при большом контрасте порядка 1:1000, и тогда может возникнуть расхождение между резкостью (ФПМ или кружком рассеяния, что однозначно) и разрешающей способностью. В этом случае для негативных материалов с одинаковой светочувствительностью это различие может изменяться в широких пределах из-за влияния таких факторов, как различие в толщине эмульсионного слоя, влияния прокраски слоя (на этом основан эффект, достигаемый в так называемом квазиоднослойном материале; см. разд. 4.1) и различной степени противоореальной защиты [Истомин, 1965], [Грибакин, Истомин, 1968]. Поэтому возможность такого несоответствия следует учитывать.

Далее необходимо иметь в виду громадное значение для информационных свойств фотографического материала процесса проявления. В процессе проявления увеличение светочувствительности неизменно сопровождается уменьшением резольвометрической широты — интервала экспозиций, в пределах которого достигается передача деталей заданного размера. Так, при увеличении продолжительности проявления с 8 до 32 мин интервал экспозиций уменьшается с 1:180 до 1:60 (в логарифмической мере с 2,26 до 1,7) для деталей с контрастом 1:1,25, а светочувствительность возрастает примерно в два раза. Именно этим объясняется современная тенденция к проявлению до умеренных значений коэффициента контрастности порядка 0,55, несмотря на то что это сопровождается потерей светочувствительности [Исто-

мин, Абидина, 1965]. Следует применять выравнивающие, а еще лучше резкорисующие проявители, позволяющие полностью использовать информационные свойства при достаточных высоких значениях светочувствительности [Абидина, Петрушкина, 1964], [Богданов, Полякова, 1971], [Мархилевич, Абриталин, 1959]. Использование таких проявителей особенно эффективно для современных тонкослойных фотографических материалов.

Увеличение резкости в процессе проявления основано на так называемом эффекте смежных мест (эффекте Эбергарда). В обычных условиях при интенсивном перемешивании этот эффект невелик, но он резко возрастает при отсутствии циркуляции раствора, уменьшении обмена между продуктами раствора, пропитавшими эмульсионный слой, и свежим проявителем [Брейдо, 1954 и 1961]. Условия так называемого «голодного проявителя» можно создать, прикатывая пропитанный проявителем эмульсионный слой к поверхности стеклянной пластинки или пленки.

Существует и другой путь. Он основан, как уже отмечалось, на применении специальной рецептуры проявителей, отличающихся весьма малой концентрацией проявляющего вещества (десятые доли грамма на литр рабочего раствора) и высокой щелочностью [Истомин, Шеберстов, 1959]. При таких условиях в пограничной зоне изображения, между светлыми и темными участками деталей, происходит усиленная горизонтальная циркуляция раствора и продуктов проявления. Участки, где проявление протекает интенсивно, отбирают свежий проявитель от соседних участков, на которые свет действовал с меньшей интенсивностью, и процесс проявления, протекающий в силу этого менее активно, еще более тормозится. В результате пограничные участки деталей, зона перехода от светлого к темному изображению, становятся более четкими, зона перехода идет круче и, что более важно в данном случае, изображение как бы «ретушируется» — светлые участки приобретают еще более светлую узкую кайму, а на краю темных образуется еще большее потемнение, бордюр. Глаз чрезвычайно чувствителен к таким изменениям изображения, и оно воспри-

нимается визуально более резким, детальным [Луизов, 1964].

Процесс проявления в этих условиях в пограничной зоне изображения можно представить как процесс с обратной связью. При такой предпосылке прирост почернения на светлом участке изображения и его торможение в темном участке можно выразить математической моделью. Далее, задаваясь соответствующими параметрами, характеризующими скорость диффузии продуктов реакции и изменение оптической плотности, толщиной эмульсионного слоя в набухшем состоянии и другими необходимыми данными, получают возможность провести детальный теоретический анализ процесса проявления с учетом проявления смежных мест. Подобного рода теоретическое и экспериментальное исследование позволяет более отчетливо выявить влияние различных факторов [Frieser Pflugbeil, 1967].

Как уже отмечалось, наилучшая передача деталей и, следовательно, наиболее полная передача сведений об объекте фотографирования достигается в среднем участке характеристической кривой с оптической плотностью 0,6—0,9. Выдержка при фотографировании и режим проявления должны обеспечивать размещение наиболее важных деталей объекта в этом участке. Определение экспозиции следует делать очень тщательно, желательно с погрешностью не более чем в 1,5—2 раза. При таких условиях, в результате первой стадии фотографического процесса, следует получить нормально экспонированный и проявленный негатив. В связи с этим нужно несколько уточнить понятие «нормальный негатив». Характер такого негатива определяется прежде всего тем, каков будет позитивный процесс, то есть предназначается ли негатив для контактной или проекционной печати.

В первом случае негатив, как правило, должен быть проявлен до коэффициента контрастности порядка 0,8—0,9 и отэкспонирован так, чтобы все детали в тенях и светах имели хорошую проработку. Проработка деталей должна обнаруживаться при просмотре негатива на просвет при интенсивном освещении днем у окна, вечером — у настольной лампы.

Во втором случае, при проекционной печати, и особен-

но при получении больших увеличений, когда надо максимально использовать информацию, негатив должен быть проявлен мягко, до коэффициента контрастности около 0,65. При наибольших увеличениях с негатива и при использовании конденсорного увеличителя коэффициент контрастности должен быть еще меньше — около 0,40—0,50. Негатив выглядит очень мягким, но при нормальной экспозиции все его детали получатся хорошо проработанными. Здесь к точному соблюдению нормальной экспозиции предъявляются более строгие требования, чем в первом случае.

При просмотре нормально экспонированного и мягко проявленного негатива, предназначенного для проекционной печати, нельзя непосредственно пользоваться интенсивным источником света. В этом случае негатив будет казаться недостаточно проработанным, слишком прозрачным, недодержанным. Если же рассматривать негатив на фоне освещенного листа белой бумаги или на фоне белой, хорошо освещенной стены, то на нем должна быть заметной хорошая проработка всех деталей. Различие в плотности деталей будет значительно меньше, чем на негативе для контактной печати, но общая проработка деталей, особенно наиболее мелких и мало контрастных, будет значительно лучше. Хорошая проработка деталей в тенях, отсутствие «забитых» светов, т. е. чрезмерно плотных участков негатива, обнаруживается и при просмотре на экране увеличительного прибора. Такой негатив, если в процессе съемки резкость изображения не была дополнительно ухудшена, даст наиболее полную информацию об объекте. Все вышеизложенное почти полностью относится и к диапозитивам, предназначенным для просмотра с большим увеличением.

Следует вкратце остановиться на прочих факторах, которые могут оказать влияние на регистрацию информации об объекте съемки. Авторы книги ограничились перечислением этих факторов (см. фиг. 3, стр. 15), не вдаваясь в их анализ. Фотографический материал выполняет заключительную функцию — регистрацию той информации, которая содержится в оптическом изображении. Но, как бы хорошо ни был выбран, экспонирован и обработан фотографический материал, не-

гатив будет плох, если качество оптического изображения будет низким.

При условии правильной, оптимальной фокусировки резкость изображения при полном относительном отверстии может быть несколько заниженной из-за влияния aberrаций. Особенно это относится к светосильным фотообъективам. Изображение заметно лучше при диафрагме, соответствующей относительному отверстию 1:5,6 или 1:8 [Ащеулов, Березин, 1964]. Во время съемки с рук на резкость изображения могут повлиять небольшие угловые смещения аппарата в момент экспозиции. Поэтому выдержка в этом случае должна быть не менее $\frac{1}{100}$ с. В некоторых случаях нельзя избежать влияния сдвига или вибраций в момент экспонирования. Здесь могут помочь, по-видимому, специальные приемы фотографирования с последующим маскированием [Бирюков, Фивенский, Чесноков, 1968]. Для реализации этого способа необходимы два идентичных негатива, отличающихся только величиной сдвига. Отношение коэффициентов контрастности, до которых проявляются негативы, должно быть равно отношению величин сдвигов. Такие негативы используются для последующего позитивного процесса с применением маскирования. Метод позволяет достигнуть 10-кратного уменьшения сдвига изображения. При небольшом сдвиге восстанавливается 60—70% исходной разрешающей способности. Существуют и другие приемы, позволяющие уменьшить влияние сдвига изображения. Теория этого вопроса и его практические применения в аэрофотографии и аэрокосмических фотосъемках в настоящее время детально разработаны [Фивенский, 1973].

Объекты второго типа, представляющие собой сочетание различных штрихов или фигур, текста, рисунков и т. п., предъявляют особые требования к выбору фотографического материала и условиям обработки. Прежде всего следует различать сюжеты, состоящие из светлого, белого фона, на котором располагаются темные штрихи или линии. Для таких объектов следует стремиться к проявлению до коэффициента контрастности порядка 2,0 или более. Здесь увеличение контраста ограничено

только требованиями к фотографической широте, исходя из условий экспонирования.

Для объектов съемки со светлыми штрихами или фигурами на темном фоне увеличение контраста связано с ухудшением качества изображения (Frieser H., [40, 41]). Поэтому проявление следует производить до коэффициента контрастности порядка 1,0—1,5. То же остается в случае смешанных объектов, например чертежей и карт, где наряду с темными деталями на светлом фоне встречаются светлые на темном [Меркулов, 1959]. В первом и последнем случае слой должен иметь хорошую противоореольную защиту. Для съемки может быть использована фотографическая пленка типа «Микрат-200» или «Микрат-300», а при предельно больших уменьшениях оригинала «Микрат-ВР» [Гороховский, Баранова, 1970].

Следует привести некоторые данные относительно фотографических материалов, упоминаемых в книге Круга и Вайде, и о наших, отечественных аналогах. В книге указывается в ряде случаев на целесообразность применения двух типов фотографических материалов: фототехнической пленки FU-5 и диапозитивной пленки DF-1. Обе пленки не имеют сенсibiliзации. Первая представляет собой материал для получения контактных копий со штриховых негативов, обладает большим коэффициентом контрастности около 5,0. Отечественная промышленность выпускает фототехническую пленку ФТ-СК с таким же коэффициентом контрастности. Для проявления ФТ-СК до требуемого контраста можно использовать раствор следующего состава: метола — 5 г, сульфита натрия безводного — 40 г, гидрохинона — 10 г, соды безводной — 34 г, бромистого калия — 3 г, воды до 1000 мл.

Вторая пленка, DF-1 применяется при изготовлении диапозитивов. Можно ее заменить отечественной кинопозитивной пленкой типа МЗ-3 или фототехнической ФТ-11.

Более детальные сведения об отечественных фотографических материалах и их обработке можно найти в литературе [Гороховский, Баранова, 1970].

В заключение следует отметить, что в настоящее время различные способы преобразования фотографического

изображения получили широкое развитие. В книге Круга и Вайде они рассмотрены главным образом в прикладном плане. Однако громадное значение имеет разработка теории вопроса. Она дает основу для дальнейшего развития. Процесс маскирования для малоконтрастных деталей может быть легко описан на основе передачи изображения с использованием функций передачи модуляции и ряда других данных для различных стадий и вариантов маскирования. Такой подход оказался чрезвычайно плодотворным. В частности, для упоминавшегося ранее фотографического маскирования в целях уменьшения влияния сдвига изображения таким путем были определены оптимальные условия этого процесса. Из других работ в этом направлении можно указать на обзор Фризера [Frieser H., 1974], где рассмотрена общая теория маскирования и ее различные приложения.

Следует выразить надежду, что перевод книги Круга и Вайде сослужит известную пользу всем тем, кто проявляет интерес к ознакомлению с современными методами максимального извлечения информации в результате фотографического процесса, кто использует этот процесс для научно-технических или художественных целей.

Д-р техн. наук проф. Г. А. Истомин

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА ¹

1. Ащеулов А. Т., Березин Н. П., Измерение частотно-контрастных характеристик фотографических объективов, Успехи научной фотографии, 10, 15, 1964.
2. Барацов Г. С., Вопросы теории фотографического воспроизведения, Госкиноиздат, 1949.
3. Беляев Н. А., Электронный копировальный прибор. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии (ЖНиПФиК), 6, 353, 1961.
4. Бирюков Ю. Л., Фивенский Ю. И., Чесноков Ю. М., Применение фотографического маскирования для уменьшения влияния сдвига на резкость фотографического изображения, ЖНиПФиК, 13, 462, 1968.
5. Брейдо И. И., Исследование проявительного эффекта Эбергарда, Изв. Главной астрономической обсерватории, 22, вып. 4, 1, 169, 206, 1961.
6. Брейдо И. И., Микросенситометрические исследования фотографических материалов, Успехи научной фотографии, 1, 118, 1954.
7. Букатин Е. А., Изображения малой плотности, Ротапринтное издание ЦНИЛ Главного архивного управления, 1959.
8. Букатин Е. А., Люминесцентный вираж, ЖНиПФиК, 10, 219, 1965.
9. Вифанский Ю. К., Гороховский Ю. Н., Исследование способности фотографических материалов к воспроизведению малых элементов оптического изображения, ЖНиПФиК, 4, 276, 1959.
10. Гилев С. С., Дехтерева В. В., Савостьянова М. В., Новый метод маскирования негативов с применением фотохромных пленок, ЖНиПФиК, 13, 431, 1968.
11. Гороховский Ю. Н., Левенберг Т. М., Общая сенситометрия, изд-во «Искусство», 1963.
12. Гороховский Ю. Н., Левина В. В., Проекционный резольмометр

¹ Ссылки на дополнительную литературу отмечены звездочками. — *Прим. ред.*

- и области его использования, Оптико-механическая промышленность, 9, 26, 1966.
13. Гороховский Ю. Н., Баранова В. П., Свойства черно-белых фотографических пленок, изд-во «Наука», 1970.
14. Грибакин Г. Г., Истомин Г. А., Основные факторы, определяющие разрешающую способность фотографических материалов, ЖНиПФиК, 9, 57, 1964.
15. Грибакин Г. Г., Истомин Г. А., Зависимость резкости изображения от оптических характеристик непроявленной кинопленки, Техника кино и телевидения, 12, 3, 1968.
16. Истомин Г. А., Воспроизведение мелких и крупных деталей светочувствительными слоями, Успехи научной фотографии, 4, 17, 1955.
17. Истомин Г. А., Разрешающая способность и резкость изображения, Техника кино и телевидения, 2, 1, 1961.
18. Истомин Г. А., Метод фотографической диффузиметрии и его применение к оценке резкости фотопленок, ЖНиПФиК, 10, 378, 1965.
19. Истомин Г. А., Разрешающая способность и дешифрируемость аэроснимков, Труды ЦНИИГАиК, вып. 107, 139, 1955.
20. Истомин Г. А., Коэффициент резкости и визуальная оценка резкости фотографического изображения, ЖНиПФиК, 18, 313, 1973.
21. Истомин Г. А., Измеренная и действительная разрешающая способность, ЖНиПФиК, 11, 430, 1966.
22. Истомин Г. А., Абидина И. Г., Влияние процесса проявления на фотографическую чувствительность и резкость изображения, ЖНиПФиК, 10, 206, 1965.
23. Истомин Г. А., Шеберстов В. И., Исследование возможности увеличения фотографической чувствительности в процессе проявления без снижения качества изображения, ЖНиПФиК, 3, 450, 1959.
24. Истомин Г. А., Сигинур Л. А., Разрешающая способность и резкость высокоразрешающих фотографических материалов, ЖНиПФиК, 17, 224, 1972.
25. Луизов А. В., Изображение на сетчатке и его преобразование в зрительной системе, Успехи научной фотографии, 10, 148, 1964.
26. Марешаль А., Франсон М., Структура оптического изображения, М., изд-во «Мир», 1964.
27. Меркулов В. А., Микрофильмирование и возможности его применения в картографии, Труды МИИГАиК, вып. 31, 123, 1959.
28. Мархилевич К. И., Абриталин Б. Л., Исследование возможности

- повышения фотографической чувствительности панхроматических пленок посредством циклического и «голодного» проявления, ЖНиПФиК, 4, 433, 1959.
29. Овчинников А. И., Эквиденситометр, ЖНиПФиК, 18, 81, 1973.
30. Тепляков Н. А., О некоторых фотометрических характеристиках зимнего аэроландшафта, ЖНиПФиК, 4, 446, 1959.
- ✓ 31. Фивенский Ю. И., Улучшение изобразительных свойств аэрокосмических фотоснимков со смазом изображения методом маскирования, диссертация, Московский институт инженеров землеустройства, 1973.
32. Frieser H., Pflugbeil M., Untersuchungen über den photographischen Nachbareffekt. Zeitschrift für angewandte Physik, 22, 4 Heft, 336, 1967.
33. Frieser H., Photographische Maskenverfahren, Optik, 39, 268, 1974.
34. Kardas R., Study of the Information Capacities of a Variety of Emulsions Systems, Photogr. Engng., 6, № 3, 56, 1955.
- ✓ 35. Богданов С. Г., Полякова Н. В., Воспроизведение мелких деталей при проявлении в контрастно работающих и в выравнивающих проявителях, ЖНиПФиК, 16, 336, 1971.
36. Бейтришвили И. Р., Фотометрия методом эквиденсит и спектр кометы Икейя-Секи 1965, Проблемы космической физики, Киев, вып. 4, 91, 1971.
37. Брейдо И. И., Виленская Б. Г., Новый способ получения изофот протяженных объектов фотографическим методом эквиденсит, ЖНиПФиК, 16, 373, 1971.
38. Бронникова Н. М., Фотометрия кометы Секи-Лайнеса (1962 C) методом эквиденсит, Известия Главной астрономич. обсерв. в Пулкове, 24, вып. 4, 174, 1966.
39. Бронникова Н. М., Фотометрия кометы Беннета (1969) методом эквиденсит, Астрометрия и астрофизика, вып. 18, 84, 1973.
40. Брейдо И. И., Бронникова Н. М., Ермошина К. П., Фотометрия комет 1939 I Козика, 1939 III Ахмарова — Юрлова — Хасселя, 1957 III Арнда — Ролана, 1957 V Меркса методом эквиденсит, Астрометрия и астрофизика, Киев, 11, 39, 1970.
41. Документы по истории изобретения фотографии (Переписка Ж. Н. Ньепса, Ж. М. Дагерра и других лиц), Изд-во АН СССР, М.—Л., 1949.
42. Рыбина А. А., О применении фотографического метода эквиденсит к спектрофотометрии солнечных образований. Солнечные данные, Бюллетень № 10, 111, 1969.
43. Карташов В. Ф., Тейфель В. Г., Усольцева В. Г., Опыт фотогра-

- фической эквиденситометрии Юпитера, Труды астрофизического института АН Казахской ССР, 13, 31, 1969.
- 44. Кравец Т. П., От Ньютона до Вавилова, «Наука», Л., 1967.
 - 45. Миз-Джеймс, Теория фотографического процесса, перев. с англ., «Химия», Л., 1973.
 - 46. Михайлов В. Я., Фотография и аэрофотография, «Геодезиздат», М., 1952, стр. 201.
 - 47. Чельцев В. С., Иорданский А. Н., Отечественная цветная фотография за 50 лет, ЖНиПФиК, 12, 397, 1967.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора русского издания	5
Предисловие авторов	8
1. Введение	10
2. Фотографический метод передачи информации	13
2.1. Фотографический канал передачи	13
2.2. Характеристики фотографического слоя	17
2.3. Фотографическая информация. Функция передачи модуляции	26
2.4. Информационная емкость фотографического слоя	36
2.5. Проблемы при извлечении информации из фотографического негатива и ее переработке	41
3. Методы повышения чувствительности	47
3.1. Хромогенное усиление	48
3.2. Усиление солями железа	55
3.3. Методы с использованием рассеянного света	61
4. Методы воспроизведения широкого интервала яркостей	65
4.1. Квазиодноярусный фотослой	65
4.2. Голокопия	68
5. Методы регулирования контраста	78
5.1. Методы маскирования	80
5.2. Методы фильтрации частот	97
5.3. Сравнение методов регулирования контраста	118
6. Методы маркировки оптических плотностей	121
6.1. Выделение оптических плотностей цветом	122
6.2. Эквиденситы	132
6.3. Методы рельефа почернения	159
6.4. Фотометрия крупных деталей	165
6.5. Изогелия	170
7. Методы, применяемые в художественной фотографии	175
8. Заключение	179
Литература	182
Послесловие редактора перевода	191
Дополнительная литература	202